

THÈSE

présentée à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

Mention "Sciences"

par

Marceau CLAVEL

Contribution à l'Etude Métallogénique de la Région d'Allemont.
(Massif de Belledonne - Isère)

DEUXIÈME SUJET : PROPOSITION DONNÉE PAR LA FACULTÉ

Soutenue publiquement le 14 Juin 1963, devant la Commission d'Examen.

JURY :

MM. M. ROUBAULT, Président

A. BERNARD	} Examinateurs
G. ROCCI	
F. LEUTWEIN, Invité	

THÈSE
FACULTÉ DES SCIENCES DE JURISPRUDENCE DE NANCY
DOCTEUR EN JURISPRUDENCE DE NANCY
MARCUS CLAVEL
Digitized by the Internet Archive
in 2026
Contribution à l'étude de la région d'Allerment.
(Maison de Ballodonne - 1880)
IMPRIMERIE GILLET - PROPOSITION DÉPOSÉE PAR LA FACULTÉ
NANCY - 1880

THÈSE

présentée à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

Mention "Sciences"

par

Marceau CLAVEL



Contribution à l'Étude Métallogénique de la Région d'Allemont.
(Massif de Belledonne - Isère)

DEUXIÈME SUJET : PROPOSITION DONNÉE PAR LA FACULTÉ

Soutenue publiquement le Juin 1963, devant la Commission d'Examen.

JURY :

MM. M. ROUBAULT, *Président*

A. BERNARD
G. ROCCI } *Examineurs*
F. LEUTWEIN, *Invité*

THÈSE

présentée à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

Mention "Sciences"

par

MARCEAU CLAVEL



Contribution à l'Étude Métallurgique de la Région d'Almont.
(Massif de Belledonne - Isère)

DEUXIÈME SUIVI : PROPOSITION DONNÉE PAR LA FACULTÉ

Soutenue publiquement le 10 Mars 1905 devant la Commission d'Examen.

MM.

M. ROUBAUD, Président

A. BERNARD

Examinateurs

E. BOCCI

E. LEBLANC, Secrétaire

UNIVERSITE DE NANCY - FACULTE DES SCIENCES

Doyen : M. ROUBAULT

1er Assesseur : M. AUBRY

2ème Assesseur : M. VEILLET

Doyens honoraires : MM. CORNUBERT - DELSARTE - URION.

Professeurs honoraires : MM. GUTTON - CROZE - RAYBAUD - LAFITTE -
LERAY - JOLY - LAPORTE - EICHORN - CAPELLE - GODDMONT - DUBREIL -
L. SCHWARTZ - DIEUDONNE - de MALLEMANN - LONGCHAMBON - LETORT - DODE -
GAUTHIER - GOUDET - OLMIER - CORNUBERT - CHAPELLE - GUERIN - CHEVALIER -
WAHL.

Maîtres de conférences honoraires : MM. RAUX - LIENHART.

MM.

PROFESSEURS

URION	Chimie biologique	HILLY	Géologie
DELSARTE	Analyse supérieure	LE GOFF	Génie Chimique
ROUBAULT	Géologie	CHAPON	Chimie biologique
VEILLET	Biologie animale	HEROLD	Chimie industrielle
ECHEVIN	Botanique	SCHWARTZ	Exploit. minière
BARRIOL	Chimie théorique	GAYET	Physiologie
BIZETTE	Physique	MANGENOT	Phytopathologie
GUILLIEN	Electronique	MALAPRADE	Chimie
GIBERT	Chimie physique	HADNI	Physique
HERVE	Calcul dif. et intég.	BONVALET	Mécanique physique
LEGRAS	Mécanique rationnelle	Mme ROIZEN	Physique
DAVID	Chimie organique	KERN	Minéralogie
BOLFA	Minéralogie	BASTICK	Chimie
NICLAUSE	Chimie	DUCHAUFOR	Pédologie
FAIVRE	Physique appliquée	NEEL	Chimie ind.organique
AUBRY	Chimie minérale	GARNIER	Agronomie
DUVAL	Chimie	WEPPE	Minéralogie appliquée
COPPENS	Radiogéologie	BERNARD	Géologie appliquée
FRUHLING	Physique	CERF	M.M.P.
SUHNER	Physique expérimentale	CHAMPIER	Physique
		N.	Zoologie

MM.

MAITRES DE CONFERENCES ET PROFESSEURS SANS CHAIRE

WERNER	Botanique	Mme BASTICK	Chimie M.P.C. Epinal
REGNIER	Physico-chimie	GUDEFIN	Physique
CONDE	Zoologie	HORN	Physique
GOSSE	Génie chimique	FRENTZ	Biologie animale
GAY	Chimie biologique	Mme HERVE	Math.(propédeutique)
ROCCI	Géologie	AUROUZE	Géologie
VUILLAUME	Psychophysiologie	FELDEN	Physique M.P.C. Epinal
PLAN	Mécanique physique	LAFON	Physique I.S.I.N.
		MARI	Chimie I.S.I.N.

Secrétaire Principal : C. CARON

A mes Maîtres

A mes Parents

A ma Femme

TABLE DES MATIERES

page

AVANT PROPOS

INTRODUCTION

Première partie : GENERALITES

I - SITUATION DE LA ZONE ETUDIEE	1
II - RAPPEL DE LA STRUCTURE DE BELLEDONNE	2
A - Historique	3
B - Géologie générale	4
1 - Terrains cristallophylliens	4
a) Série brune	4
b) Série verte	4
c) Série satinée	4
2 - Granites	5
3 - Couverture	5
4 - Orogénèse	6

Deuxième partie : GEOLOGIE GENERALE

I - DESCRIPTION D'ITINERAIRES ET PETROGRAPHIE	8
II - FORMATIONS DU SOCLE	32
A - Description lithologique des séries métamorphiques	32
1 - Série brune	32
2 - Série verte	33
3 - Série satinée	34
B - Roches ignées	34
1 - Les roches volcaniques	34
2 - Les filons quartzo-feldspathiques	35
C - Métamorphisme	35
1 - Métamorphisme général	36
2 - Rétromorphisme	36
III - FORMATIONS DE COUVERTURE	38
A - Houiller	38
B - Lias	39
C - Quaternaire	40
1 - Glaciaire	40
2 - Eboulis	40
3 - Alluvions	41

	page
IV - TECTONIQUE	41
CONCLUSIONS	44
Troisième partie : DESCRIPTION DES GISEMENTS METALLIFERES	
INTRODUCTION	46
LES GISEMENTS A B. P. G. C.	49
I - PRINCIPAUX QUARTIERS OBJET DE RECHERCHES	49
A - Le Mollard	49
1 - Historique	49
a) Filon n° 1	49
- Accès	49
- Structure du filon : le toit, le mur, la gangue, les minéralisations	50
- Analyse chimique	56
- Relations mutuelles entre les minéraux	56
- Considérations d'ordre génétique ..	57
b) Filon n° 2	57
c) Filon n° 4	59
d) Filon n° 5	60
2 - Conclusions de l'étude des mines du Mollard : caractères structuraux, caractères métallogéniques ...	64
B - Mine du Grand Bois	65
C - Mine du Villaret	67
D - Mine de La Combe	68
E - Les Granges et le Coteyssard	72
F - Mine des Arabes	73
G - La Fare, l'Ecuelle, Champcau, La Roche	79
H - La Traverse	84
I - Chemin de Bâton	86
II - ANALYSES SPECTRALES QUALITATIVES	88

III - CONCLUSIONS	92
A - Disposition des gisements	92
B - Caractères des gangues ...	93
C - Caractères des minéralisations	94
D - Mode de gisement	96
E - Classification des gîtes	97
LES GISEMENTS A COBALT, NICKEL, ARGENT. LES CHALANCHES.	98
I - HISTOIRE DES IDEES CONCERNANT LES CHALANCHES ...	98
II - ETAT ACTUEL DES ANCIENS TRAVAUX	102
III - STRUCTURE DE LA ZONE DES CHALANCHES	104
IV - ETUDE DES MINERAIS	106
A - Les gangues	106
B - Les minerais	110
C - Associations minérales et paragénèses	117
V - CONCLUSIONS	122
A - Disposition des gisements	122
B - Caractère des gangues ..	123
C - Caractères des minéralisations	123

Quatrième Partie : ESSAI SUR LA GENÈSE DES
GISEMENTS MÉTALLIFÈRES

COMPARAISON DES DEUX GISEMENTS	126
Analogies	127
Différences	127
. Hypothèse descendante	129
. Gisement du type "fahlband"	130
. Gisement à influence topominérale	132
. Paragenèse à antimoine dominant	134
CONCLUSIONS	136
A - Mise en place des minéralisations	136
B - Age des minéralisations ...	136
1 - Age de la rétro-morphose	137
2 - Mise en place du granite des Sept Laux	137
C - Classification des gisements	138

BIBLIOGRAPHIE -

LISTE DES PLANCHES HORS TEXTE.

- Pl. I.- PHOTOGRAPHIES DE FACES POLIES DE QUELQUES ROCHES
CARACTERISTIQUES.
- Pl. II.- PHOTOGRAPHIES DE FACES POLIES DE QUELQUES FORMATIONS
MINERALISEES.
- Pl. III.- MICROPHOTOGRAPHIES DE QUELQUES LAMES MINCES.
- Pl. IV.- MICROPHOTOGRAPHIES DE SECTIONS POLIES PROVENANT DES GITES A
B.P.G.C.
- Pl. V.- MICROPHOTOGRAPHIES DE SECTIONS POLIES PROVENANT DES
CHALANCHES.

LISTE DES CARTES.

- CARTE I - Carte géologique de la partie sud de Belledonne (dépliant)
- CARTE II - Carte des anciens travaux miniers et carte géologique
interprétative 46 bis

Liste des figures.

- Fig. N° 1, p. 2 bis - Situation de la zone étudiée.
- Fig. N° 2, p. 32 bis - Coupe de la série brune. Itinéraire n° 1.
- Fig. N° 2, p. 32 bis - Schéma de l'affleurement décrit p. 21.
- Fig. N° 4, p. 32 bis - Schéma du filon du chemin de Bâton.
- Fig. N° 5, p. 33 bis - Succession Lithologique dans la région d'Allemont.
- Fig. N° 6, p. 42 bis - Panaroma du versant Sud de Belledonne. Dessiné depuis Cornillon.
- Fig. N° 7, p. 49 bis - Structure des filons n° 1 et 2 du Mollard.
- Fig. N° 8, p. 49 bis - Schéma du filon n° 1 du Mollard.
- Fig. N° 9, p. 54 bis - Mollard n° 1 : cubanite dans chalcopryrite.
- Fig. N° 10, p. 54 bis - Mollard n° 2 : association blende, galène, chalcopryrite.
- Fig. N° 11, p. 54 bis - Mollard n° 4 : Association de la chalcopryrite, et de la pyrrhotine, en reliques dans des goethites d'altération.
- Fig. N° 12, p. 54 bis - Mollard n° 4 : lamellation de la pyrrhotine associée à la chalcopryrite.
- Fig. N° 13, p. 60 bis - Mollard n° 4 : association de pyrite, chalcopryrite, pyrrhotine.
- Fig. N° 14, p. 60 bis - Mollard n° 4 : pyrrhotine altérée en goethite renfermant de la covelline en grains.
- Fig. N° 15, p. 68 bis - Plan des travaux du Villaret.
- Fig. N° 16, p. 73 bis - Plan des travaux des Arabes.
- Fig. N° 17, p. 102 bis - Schéma des exploitations de Clos Chevalier.
- Fig. N° 18, p. 104 bis - Structure des Chalanches et coupe annexe.
- Fig. N° 19, p. 113 bis - Pyrite dans mispickel.
- Fig. N° 20, p. 113 bis - Remplacement de la pyrite par le mispickel renfermant de l'argentopyrite.
- Fig. N° 21, p. 113 bis - Association pyrite, löllingite, mispickel.
- Fig. N° 22, p. 113 bis - Remplacement central de la pyrite par la blende.
- Fig. N° 23, p. 114 bis - Association skutterudite, löllingite, mispickel.
- Fig. N° 24, p. 114 bis - Détail de l'association skutterudite, nickeline, rammelsbergite.
- Fig. N° 25, p. 114 bis - Association argyrose antimoine.
- Fig. N° 26, p. 116 bis - Stromeyerite dans la galène.
- Fig. N° 27, p. 116 bis - B.P.G.C. des Chalanches.

Tableaux dans le texte.

	page
Tableau n° 1 : Analyses chimiques effectuées sur les minerais du filon n° 1 du Mollard	56
Tableau n° 2 : Analyses chimiques effectuées sur les minerais du filon n° 2 du Mollard	59
Tableau n° 3 : Analyses chimiques effectuées sur les minerais du filon n° 5 du Mollard	63
Tableau n° 4 : Analyses chimiques effectuées sur les minerais du filon n° 3 des Arabes	77
Tableau n° 5 : Analyses chimiques effectuées sur les minerais provenant de l'Ecuelle	83
Tableau n° 6 : Analyses spectrales qualitatives de quelques minéraux	89
Tableau n° 7 : Minéraux des gangues signalés aux Chalanches par différents auteurs	107
Tableau n° 8 : Minéraux hypogènes signalés aux Chalanches par différents auteurs	111
Tableau n° 9 : Minéraux supergènes signalés aux Chalanches par différents auteurs	115
Tableau n° 10 : Analyse chimique d'une nickéline des Chalanches	118
Tableau n° 11 : Comparaison des gisements à B.P.G.C. et des gisements à Co, Ni, Ag.	126
Tableau n° 12 : Classification des gisements de la région d'Allemont	139

A V A N T P R O P O S

Je tiens tout d'abord à remercier M. le Doyen M. Roubault qui me fait l'honneur de présider aujourd'hui mon jury tout comme je le remercie d'avoir bien voulu m'accueillir à l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie, pour me permettre de préparer dans les meilleures conditions possibles la thèse que je présente maintenant.

Originaire de la région grenobloise, c'est à mon retour du Congo ex Belge où je prospectais les gisements auro-stannifères que M. le Professeur R. Michel de la Faculté de Grenoble me conseilla vivement de venir à Nancy pour étudier les gisements métallifères de la région d'Allemont dans l'Isère.

Mes études furent grandement facilitées par M. le Professeur A. Bernard qui voulut bien diriger mes recherches et me prodiguer ses conseils ; grâce à lui, il me fut possible de renouer sans trop de peine avec des études longtemps interrompues et terminer sans trop de mal le travail entrepris. Il m'est agréable de remercier M. le Professeur G. Rocci d'avoir bien voulu accepter de siéger dans mon jury, après m'avoir permis, par ses critiques judicieuses, de mettre au point ce mémoire. M. le Professeur Leutwein me fit profiter de sa grande expérience dans une discipline où je fais mes premiers pas : la métallogénie. Il m'a fait l'honneur de siéger ici comme invité et je tiens à l'en remercier vivement.

La rencontre à l'E.N.S.G. de M. le Professeur P. Bordet fut, pour mon travail, d'une grande importance, car il me fit profiter de sa connaissance des massifs cristallins externes dont il assure le levé géologique au 1/50 000e, pour le compte du Service de la Carte.

Pendant l'année que dura la préparation au Certificat de Pétrographie et Géochimie, les cours de MM. les Professeurs R. Coppens, D.M. Shaw et F. Leutwein, ainsi que leurs conseils, me furent une aide précieuse.

M. de la Roche, Sous-Directeur du C.R.P.G. m'autorisa à faire pendant trois mois un stage très instructif sous la direction de M. K. Govindaraju, pendant lequel je m'initiai au maniement du spectrographe. Ainsi, mon passage à Nancy me fit mieux pénétrer les courants d'idées modernes et me familiarisa avec les techniques les plus fines qui sont aujourd'hui au service du géologue.

Tout au long de mon séjour à Nancy, et lors des moments d'affolement qui précèdent une soutenance, j'ai trouvé toute l'aide matérielle et morale nécessaire auprès de M. Bristiel, Secrétaire Général de l'E.N.S.G. et de M. Cuny, Chef du Service Intérieur ; qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance.

Je n'oublierai certes pas l'obligeance de MM. Capoulade et Lacaille, Ingénieurs au Service des Mines de Grenoble, qui mirent à ma disposition les archives de l'arrondissement minéralogique, ni celle de M. Sibilot, Directeur Général de la Petite Faye, Société Minière titulaire d'un permis de recherches aux Chalanches, qui a consenti à me libérer de mon travail pour achever dans de bonnes conditions cette thèse; qu'ils veuillent bien accepter mes remerciements.

En ce qui concerne l'illustration de ce mémoire, il m'est agréable de mentionner tout particulièrement Mme Adam et M. Bauer dont les conseils et la diligence m'ont permis de réussir des microphotographies délicates, et M. Lestreit qui me fit aimablement profiter de sa grande expérience de dessinateur.

Que tous ceux qui, par leur enseignement, par leurs conseils, par leur aide ou par leur amitié ont contribué à la mise au point de ce travail, veuillent bien accepter, avec mes remerciements, l'assurance de ma profonde gratitude.

I N T R O D U C T I O N

La région d'Allemont, qui se trouve à la périphérie de l'Oisans, fut, ainsi que l'ensemble de la chaîne de Belledonne, le siège d'exploitations minières florissantes : au Moyen-Age et à la fin du XVIIIème siècle en particulier.

Il ne subsiste souvent aucun témoignage écrit de l'activité de ces nombreuses mines, excepté pour les mines des Chalanches, bien connues pour leur association minéralogique à cobalt, nickel, argent, unique dans cette partie des Alpes ; elles sont situées au-dessus du village d'Allemont, aux environs de la cote 2.000. Curieuse par la diversité de ses paragenèses, la concession des Chalanches est peu étendue (22 km²) ; forts difficiles d'accès, les recouvrements récents (moraines, éboulis) en rendent le levé à petite échelle délicat.

Un inventaire préliminaire des connaissances éparses concernant le sujet étudié ici révéla qu'en dehors des vieux indices des Chalanches, il existait d'autres minéralisations dignes d'intérêt dans cette région d'Allemont ; il s'agit d'indices plombo-zincifères et cuprifères situés au niveau de la vallée à des altitudes comprises entre 700 et 1 000 mètres.

Le plan de cet ouvrage sera le suivant : une première partie fera le point des connaissances actuelles concernant la géologie de Belledonne, afin de situer, en second lieu, et avec la plus grande précision possible, les anciennes mines dans leur contexte géologique. La troisième partie développera l'inventaire des prospectes anciens et actuels et sera surtout une description des gisements et des minéralisations qu'ils renferment. Pour terminer, ce sera l'objet de la quatrième partie, il sera tenté un essai de détermination des processus génétiques responsables de la mise en place des gisements qui permettra de leur assigner une place dans la classification métallogénique.

CARTE GEOLOGIQUE DE LA PARTIE
SUD DE BELLEDONNE



Topographie
d'après les cartes I G N
VIZILLE 3-4

Echelle : 1 / 20.000'

- Première partie -

G E N E R A L I T E S

I.- SITUATION DE LA ZONE ETUDIEE

(Fig. n° 1, p. 2 bis)

Le massif de Belledonne où sont situées les minéralisations, objet de cette étude, forme l'essentiel des chaînes cristallines qui constituent en France les contreforts Ouest des Alpes.

La définition de Belledonne n'étant pas la même pour les géographes et les géologues, il importe de préciser ce qu'entendent les uns et les autres lorsqu'ils emploient ce terme.

- Les géographes isolent, entre l'Arc au Nord et le Drac au Sud, dans cet ensemble orienté N.E.-S.W. :
 - Le Massif d'Allevard
 - Le Massif de Belledonne proprement dit qui comprend les principaux sommets : Grand Pic de Belledonne, 2 977 m ; Croix de Belledonne, 2 926 m.
 - Le Massif du Taillefer et le Dôme de la Mure, au Sud de la Romanche.Les Grandes Rousses et le Pelvoux constituent l'Oisans.
- Pour le géologue, le massif de Belledonne comprend les massifs cristallins situés entre l'Isère au Nord et le Drac au Sud. Bien que séparées de Belledonne par le "synclinal liasique" de l'Eau d'Olle, les Grandes Rousses y sont rattachées ; le Pelvoux représenterait la partie la plus profonde de cet ensemble.

En fait, le massif de Belledonne n'est qu'une partie d'un ensemble structural plus vaste, les massifs cristallins externes, qui comprend :

- Au N.E., les massifs du Mont Blanc et des Aiguilles Rouges et, en Suisse, ceux de l'Aar et du Gothard.
- Au S.E., le massif du Mercantour.

Tous ces massifs ont en commun : la nature essentiellement cristallophyllienne des terrains qui les composent, leur âge anté-houiller et leur situation en bordure de l'arc alpin. Dès 1861, d'ailleurs, Ch. Lory les groupait sous le nom de "première zone alpine".

La concession des Chalanches se trouve dans le Belledonne des géographes et des géologues, le village d'Allemont en est la plus proche agglomération.

Située près du confluent de la Romanche, sous affluent droit de l'Isère, et de l'Eau d'Olle, torrent qui prend sa source au Col de la Croix de Fer, la commune d'Allemont se trouve sur le flanc Ouest du "synclinal" de l'Eau d'Olle.

A partir de Grenoble, on se rend à Allemont par la R.N. 91 (Grenoble - Briançon). De Rochetaillée, la R.N. 526 (Rochetaillée - Saint-Jean de Maurienne) conduit à la Fonderie d'Allemont où étaient traités les minerais de la région. Dès qu'il s'engage dans la vallée de l'Eau d'Olle, le visiteur est frappé par le contraste entre le fond de la vallée, d'aspect riant, couvert de cultures et de forêts, et les crêtes dénudées qui la dominent, recouvertes de bois taillis, de pierriers et de maigres pâturages à moutons. Dans ces montagnes arides se trouvent les anciennes mines des Chalanches.

Vouée à l'agriculture et, plus récemment, au tourisme, cette région a aussi un riche passé minier, antérieur, d'après les archives ⁽¹⁾, à la principale période connue d'exploitation des mines, à la fin du XVIIIème Siècle. Dans ce travail, les paragraphes traitant de l'historique des différentes mines ne feront état que des seuls travaux répertoriés et décrits, en insistant sur ceux dont les traces (halles, galeries) sont encore visibles aujourd'hui. Le périmètre de la concession des Chalanches englobe à peu près tous les anciens indices, mais tant par souci d'être complet qu'en vue d'une meilleure compréhension de ce district, il m'a semblé utile d'étendre quelque peu en deçà du périmètre administratif le domaine étudié ; ses limites sont les suivantes (Pl. I): (carte 1) :

- A l'Ouest, le torrent de Bâton, jusqu'à la prise d'eau.
- Au Nord-Ouest, une ligne qui rejoint la Grande Lance d'Allemont et se continue en direction Nord-Sud vers le Lac de Belledonne.

(1) - Service des mines de l'Arrondissement de Grenoble.

- Au Nord, la rive gauche du torrent du Mollard.
- A l'Est, la rive gauche de l'Eau d'Olle.
- Au Sud, la rive droite de la Romanche.

II.- RAPPEL DE LA STRUCTURE DE BELLEDONNE

A.- H i s t o r i q u e

Depuis les études des précurseurs de la géologie de la région (Guettard, 1779 ; de Beaumont, 1828 ; Gras, 1839), on sait que celle-ci est constituée de terrains sédimentaires, de granites et de schistes cristallins.

Ch. Lory, dans sa description géologique du Dauphiné, retient une structure en éventail du massif de Belledonne dont la forme générale serait celle d'un anticlinorium complexe.

La première notion structurale importante est introduite par P. Lory (1893). Il s'agit du "synclinal médian", accident tectonique majeur orienté parallèlement à la chaîne ; depuis la vallée de la Romanche il se prolonge jusque dans la région de Beaufort, en Savoie. Des écailles mésozoïques pincées dans cet accident permettent de lui attribuer un rejeu récent. Ce synclinal médian permet de subdiviser la chaîne en un rameau externe à l'Ouest, un rameau interne à l'Est.

Des travaux fragmentaires nombreux se succèdent jusqu'à notre époque ; ils sont dispersés en de nombreuses publications, mais peu d'éléments nouveaux sont apportés quant à la structure d'ensemble.

Depuis 1950 environ, un renouveau d'intérêt se manifeste concernant Belledonne, avec les travaux des géologues hollandais de l'Université de Leyde (den Tex, 1950 ; Tobi, 1958), ceux de Cl. et P. Bordet (depuis 1952) et ceux des chercheurs du Laboratoire de Géologie de l'Université de Grenoble (Berthet et Michel, 1958 ; Dondey, 1960) ; (Sarrot - Reynault de Cresseneuil, 1962).

Actuellement, il est admis que du point de vue structural, Belledonne est divisé en un rameau externe et un rameau interne, séparés par un accident tectonique très important, le "synclinal médian", qui a rejoué lors de l'orogénèse alpine, car il affecte les terrains sédimentaires surincombants, Houiller, Permien, Trias.

Je me propose de donner un compte-rendu bibliographique simple reposant sur les connaissances admises par tous les auteurs, mais signalant, le cas échéant, les points de désaccord. Dans cet esprit, j'étudierai tout d'abord la nature des différentes formations rocheuses et je tenterai en second lieu d'en restituer l'architecture.

B.- G é o l o g i e g é n é r a l e

J'utiliserai dans cette description la nomenclature préconisée par P. et Cl. Bordet pour le levé au 1/50 000 du massif de Belledonne ; il sera aisé par la suite d'inclure mes levés personnels dans ce travail d'ensemble. Ces auteurs déterminent dans le massif de Belledonne des terrains cristallophylliens, des granites, des terrains sédimentaires dits de couverture. En ce qui concerne les subdivisions qu'ils ont établies à l'intérieur des terrains cristallophylliens, une corrélation peut être faite avec les coupures admises par d'autres auteurs qui ont travaillé dans la même région : J. Sarrot-Reynault (1962), dans sa thèse sur le Dôme de la Mure, en a dressé un tableau.

1 - Terrains cristallophylliens

De bas en haut, on trouve :

a) Série brune :

elle est constituée par des gneiss chloriteux à plagioclases acides ; ils sont parfois migmatisés et renferment des passées d'amphibolites. La série brune n'apparaît vraiment que dans la partie Sud de Belledonne.

b) Série verte :

constituée à la base par des roches variées, chloritoschistes, amphibolites, roches volcaniques, cipolins, elle contient au sommet des amphibolites à passées gabbroïques qui sont probablement en relation avec le complexe ultra-basique des Lacs Robert, étudié par E. den Tex (1950).

c) Série satinée :

formée par une puissante série assez monotone, à faciès flysch, elle correspond aux gneiss albitiques et leptynitiques du groupe de Vizille, de R. Michel et P. Berthet. A la base de cette série se trouvent des roches dérivées de formations volcaniques acides, sans doute kératophyriques. Dans le Taillefer, elles sont surmontées par un conglomérat (CARME ⁽¹⁾).

2 - Granites

Dans la région décrite ici, le plus important massif granitique est celui des Sept Laux qui se prolonge plus au Sud dans les Rissioux. Il est situé dans la série brune, au coeur d'un anticlinal dont le flanc Ouest est constitué par Belledonne. Le contact avec Belledonne se fait par une faille N.S., située en rive gauche de l'Eau d'Olle. Cette faille est accompagnée par une zone d'intense mylonitisation. P. Berthet signale près de Livet un affleurement de granite dont il fait un granite chonolithique.

Ce terme, peu employé, désigne le gisement de roches ignées dont la relation avec les roches encaissantes ou avec le substratum n'apparaît pas clairement.

3 - Couverture

Elle est constituée par : du Houiller, siège de petites exploitations de charbon, disposé en chapeaux sur les sommets ou pincé dans le synclinal médian ; du Permien auquel sont rattachés les grès d'Allevard ; du Trias plaqué sur les vestiges de la pénéplaine hercynienne et des

(1) - Renseignement oral, thèse en préparation.

calcaires bleu-noirs du Lias qui forment la couverture glissée des hauts massifs.

4 - Orogénèse

L'histoire géologique de toute la chaîne de Belledonne débute bien avant le Houiller. Les premiers terrains sédimentaires datés appartiennent au Carbonifère supérieur. L'ensemble des schistes cristallins constitue une puissante série anté-houillère, affectée par la phase orogénique hercynienne ; d'où le nom de "massifs hercyniens" parfois donné aux massifs cristallins externes. Sur la phase tectonique hercynienne s'est surimposée une tectonique alpine marquée, à l'Oligocène par une dominante des phénomènes obliques du socle, suivie d'une phase isostasique verticale. Dans l'état actuel des travaux sur Belledonne, il est bien difficile d'établir avec exactitude, dans le détail, ce qui est à rattacher à la tectonique hercynienne ou à la tectonique alpine.

En l'absence de datation géochronologique du granite des Sept Laux, on ignore encore si des recristallisations sont intervenues au cours de la phase alpine. On ne connaît pas de volcanisme tertiaire dans les massifs cristallins externes. La dernière époque pendant laquelle se développe un volcanisme effusif est sans doute le Trias. Au moment du dépôt du Houiller, une activité volcanique régnait dans la région, ainsi que le montrent les cinérites interstratifiées dans les sédiments houillers de la Grande Lauzière.

La question du métamorphisme alpin dans les massifs cristallins externes est encore controversée, certains auteurs (Michel, Berthet, Sarrot-Reynault) rattachent à cette époque les phénomènes de rétromorphose et les phénomènes de métasomatose sodique et borée, responsables de la néoformation d'albite et de tourmaline, en particulier dans le Trias.

Pour E. den Tex, P. et Cl. Bordet, après le Trias, il n'y a pratiquement plus que des phénomènes superficiels et isostasiques qui jouent.

Il suffit de considérer les limites de la concession des Chalanches (p. 2) pour situer par rapport au massif de Belledonne (Fig. I) la zone étudiée dans ce travail. Toutefois, les levés dont je disposais en 1960 étaient tout à fait insuffisants pour conduire une analyse minière, thème de cette étude, de manière pertinente. Force me fut donc de préciser la géologie de la concession par un levé au 1/20 000 dont il m'a paru utile de justifier le tracé par la description de trois itinéraires (Pl. I) ; cette description me permettra par ailleurs, en forme de commentaire, de préciser à une échelle convenable, les affleurements caractéristiques, le contexte géologique des minéralisations de la région d'Allemont dont la description fera l'objet de la troisième partie du mémoire.

- Deuxième partie -

G E O L O G I E G E N E R A L E

I.- DESCRIPTION D'ITINERAIRESET PETROGRAPHIE. Pl. I.

- ITINERAIRE N° 1 -

LA FONDERIE D'ALLEMONT, LE CLOT, LA TRAVERSE, LE CHAZEAU.

La route qui relie la Fonderie à Allemont s'élève à travers des prairies et des champs situés sur des éboulis ou des terrains d'origine morainique ; les affleurements y sont rares. Les seules roches visibles sont les calcaires bleu-noirs du Lias.

Après la traversée de la combe Gilbert, le sentier muletier qui, par le Clot, rejoint La Traverse est entaillé dans des gneiss très chloriteux (photo n° 1, pl. I) ; des lits contournés de phyllites englobent des yeux quartzo-feldspathiques d'une taille de l'ordre du centimètre. Des diaclases, à peu près perpendiculaires au litage de la roche, la recoupent sans déplacement relatif. Au bord du chemin, une galerie à demi-refermée est ouverte en direction dans un filon plus ou moins chevelu qui devait faire partie des anciens travaux des "Arabes".

L'observation en lame mince souligne la texture macroscopique hétérogène de la roche (photo n° 1, pl.III) ; aux lits grano-nématoblastiques où dominent les phyllites, s'opposent les yeux de quartz-feldspath à texture granoblastique.

Lits grano-nématoblastiques :

- minéraux micacés : pennines : elles renferment des minéraux opaques dans leurs clivages ; la séricite provient en majeure partie de l'altération des feldspaths. Aux dépens d'amas de séricite, de la muscovite peut recristalliser.

- éléments blancs : quartz : toujours à extinction fortement onduleuse, il se trouve parfois entre les lamelles de phyllites ; localement, il peut être granulé (texture en mortier) et, associé à de la séricite, constituer un ciment mylonitique de plages de feldspath.

Comme le suggère l'arrangement des plages de séricite, il existait dans la roche des feldspaths, altérés par la suite. Ils sont indéterminables. Une deuxième génération de feldspaths est constituée par de l'albite xénoblastique qui se développe dans les plages de feldspaths altérés ou aux dépens des chlorites.

Yeux granoblastiques :

le quartz, étroitement associé aux feldspaths, montre une extinction roulante. Il se trouve aussi dans les feldspaths, en cristaux sub-automorphes à extinction normale ; feldspaths : il s'agit d'oligoclases maclés albite et péricline. Ils peuvent être cassés et très souvent leur macles sont tordues.

minéraux accessoires :

un peu d'apatite se trouve dans les lits phylliteux.

Plus loin, le long du chemin, les lits quartzo-feldspathiques se développent et peuvent passer à des lentilles de pegmatite à muscovite et tourmaline noire.

Ces pegmatites renferment des plagioclases, très altérés, plus rarement du microcline fracturé qui contient de rares perthites.

Le quartz est fortement cataclaté, à extinction roulante. Il peut recristalliser en individus plus petits et plus limpides, dans des cassures affectant aussi bien les feldspaths que la tourmaline.

La muscovite est peu abondante, en lamelles tordues.

La route de La Traverse, peu avant son terminus, est taillée dans une zone de gneiss broyés à l'extrême. Quand la roche n'est pas trop disloquée, une alternance de bancs gneissiques à grains plus ou moins fins est bien visible. Dans ces niveaux se développent des lentilles de pegmatites à muscovite ; elles peuvent atteindre deux mètres de longueur, avec une puissance maximum de trente centimètres ; elles sont concordantes avec le litage de la roche et, à leur contact, les épontes sont écartées.

Le quartz, mylonitique, se présente en grandes plages recristallisées. Le feldspath, dont les cristaux peuvent atteindre une dizaine de centimètres, est une albite très fortement séricitisée, souvent cassée, à macles parfois tordues. La muscovite est en lamelles à extinction onduleuse.

Les minéraux accessoires sont des chlorites, disséminées entre les minéraux, et de la calcite disposée en filonnets dans les cassures, ou en individus xénomorphes dans le feldspath.

Le hameau de La Traverse est construit sur des micaschistes très siliceux à grenats et lentilles de quartz concordantes avec, localement, des plages quartzo-feldspathiques discontinues. La schistosité de la roche est soulignée par l'alternance de lits siliceux et de lits micacés qui

renferment les grenats. Les directions oscillent autour de 15° , avec des pendages de 20 à 30° N.W. Il semble bien qu'il s'agisse là de la direction de stratification et non du litage de la roche ⁽¹⁾.

L'étude microscopique confirme l'aspect hétérogène de la roche ; aux plages riches en quartz s'opposent celles où dominent les minéraux phylliteux (photo n° 2, pl. III).

Le quartz est en individus un peu allongés, engrenés, à extinction onduleuse.

Lits micacés :

la biotite est en lamelles qui correspondent à la schistosité de la roche. Lorsqu'elle est associée à des micas incolores, de la famille de la muscovite, les minéraux opaques deviennent plus abondants. De gros grenats cassés renferment des biotites, des chlorites, du quartz en gouttes à caractères optiques normaux. Il en est de même pour la muscovite lorsqu'elle cristallise au contact du grenat. Des reliques d'andalousite, à peu près complètement pinnitisées, sont encore reconnaissables. De la tourmaline fine, automorphe, écarte les micas. Des inclusions sont visibles au centre des cristaux coupés perpendiculairement à l'allongement.

Niveaux quartzo-feldspathiques :

ils constituent des niveaux plus clairs et, localement, peuvent oblitérer les structures micaschisteuses. Ils sont composés de plagioclases séricitisés et de quartz à extinction onduleuse, riche en inclusions. Les limites des cristaux sont souvent soulignées par des lamelles de chlorites.

De La Traverse, c'est par un sentier muletier qu'il est possible d'arriver au chalet du Chateau, en passant par le hameau des Granges. Le sentier traverse d'abord le ruisseau de Mondane. Au-dessus du chemin affleurent les micaschistes à grenats, et au-dessous, les gneiss disloqués ; les yeux quartzo-feldspathiques peuvent atteindre quelques dizaines de centimètres dans leur plus grande dimension, et de la biotite fraîche apparaît sur leur bordure.

En rive gauche du ruisseau, un peu au-dessus du chemin, affleurent des amphibolites à grain fin, en bancs massifs orientés au N.N.E. ; sur la cassure fraîche, une schistosité est bien visible.

(1) - Une mesure de pendage est souvent peu significative à cause de l'importance des phénomènes de fauchage ; considérer l'ensemble des mesures est plus prudent.

Le sentier s'élève rapidement et traverse une zone de micaschistes très chloriteux. Une source précipite de grandes quantités d'hydroxydes de fer.

En rive gauche du ruisseau du Moulin, des roches, dont l'altération en boules rappelle celle des granites, montrent à l'oeil nu des biotites d'apparence très fraîches et une texture d'anatexites, soulignée par des nids de biotite non orientés.

L'étude en lame mince souligne immédiatement la texture d'anatexite de la roche et la différence de taille des grains dans les plages à éléments leucocrates dominants (photo n°3 Pl.III). Aux grandes plages de quartz engrené, dont les extinctions sont indépendantes, s'opposent des plages à grain nettement plus fin, composées de quartz et d'albite : le quartz est en individus automorphes à extinction onduleuse, tandis que le pourtour des grandes plages est arrondi, souvent souligné par une couronne de minéraux ferrugineux. On a l'impression, dans ce cas, de voir du quartz détritique. Les biotites sont remarquablement fraîches, parfois mélangées à des chlorites renfermant des minéraux opaques. Ces chlorites sont corrodées par des feldspaths peu séricitisés. Les minéraux accessoires sont des zircons et des reliques de grenats.

Le chemin continue dans une zone d'affleurements irréguliers, fauchés. Il s'agit toujours de gneiss où domine un grain moyen. Des traînées de biotite montrent que c'est encore le faciès anatexitique décrit ci-dessus. Ces gneiss contiennent parfois des lentilles de quartz d'exsudation. Un filon de quartz blanc, géodique, recoupe le litage de la roche. Il est accompagné d'une forte silicification des épontes et, sur une dizaine de centimètres, d'une nette décoloration des minéraux micacés de la roche encaissante.

En rive gauche du ruisseau de la Dreyta, affluent du ruisseau du Coteyssard, un affleurement de gneiss à biotite est localement enrichi en pyrite. La texture étirée, parfois contournée des plages micacées évoque encore une anatexite.

Au microscope, les lits de biotite broyée sont transformés en lambeaux enchevêtrés de pennine. Entre les chlorites, un feutrage de séricite fine est recimenté par du quartz à extinc-

tion onduleuse. Le quartz a deux habitus différents : il peut exister en grands cristaux engrenés, faiblement cataclasés à extinction roulante. D'autres plages renferment du quartz beaucoup plus fin, bourré de séricite, englobant des plages très altérées, sans doute des reliques de feldspaths. Ces plages broyées sont légèrement albitisées.

Les minéraux accessoires sont des zircons qui pour une part proviennent des biotites. Ils sont cassés. La pyrite peut s'individualiser en petits filonnets discontinus.

Une autre lame mince (photo n°5 Pl.III) est caractérisée par une mylonitisation plus intense, accompagnée d'une séricitisation par bandes. Certaines biotites sont très chloritisées, la chloritisation s'accompagnant d'une exsolution de minéraux opaques dans les clivages ; d'autres sont très fraîches, sans inclusions de zircon et sans minéraux opaques dans les clivages. Il s'agit sans doute de biotites de néoformation.

Un peu au-dessous du chalet du Chazeau se retrouve une formation analogue à celle de La Traverse, constituée par des micaschistes très siliceux, riches en grenats.

Au total, l'itinéraire n° 1 permet d'observer et de décrire dans le détail une formation gneissique hétérogène. On peut y reconnaître :

- au sommet, des micaschistes siliceux à grenats, suivis de La Traverse au Chazeau.

- en-dessous, des gneiss très chloriteux, cataclasés, où un apport sodique a déterminé une légère albitisation. Ces gneiss renferment des lentilles pegmatitiques où peut apparaître du microcline.

- enfin, les gneiss acquièrent un faciès d'anatexite dû à une forte migmatisation ; leur cataclase peut aboutir à une mylonitisation. La néoformation de biotite souligne un apport potassique, ou une grande richesse en potassium au départ.

Les plages de séricite, qui coexistent avec des biotites néoformées, sont sans doute à rapporter à des circulations thermales plus qu'à un dynamo-métamorphisme qui aurait plus régulièrement affecté les différents minéraux.

La coupe de la série serait donc la suivante : Figure n° 2, page 32 bis.

Ces différentes formations ont été mises à nu par l'érosion glaciaire, responsable pour une bonne part du creusement du bassin du ruisseau du Coteyssard.

Pour achever la description géologique de la partie Nord-Est de la zone étudiée, il convient de mentionner d'autres affleurements situés en dehors de l'itinéraire n° 1

a) En-dessous du hameau du Coteyssard affleurent des formations à amphiboles, avec apport quartzo-feldspathique.

Les amphiboles sont des hornblendes très cataclasées aux dépens desquelles se développe parfois de la biotite. Les feldspaths, très altérés, sont méconnaissables. La migmatisation de ces roches est mise en évidence par l'apport quartzo-feldspathique et par une légère métasomatose potassique provoquant la biotitisation des hornblendes (Turner, 1960).

b) Le long de la route nationale n° 526, après la traversée de l'Eau d'Olle sur le Pont Rattier, affleurent des formations d'aspect mica-schisteux ou leptynitique, avec passage d'un banc d'amphibolites de quelques mètres de puissance. Des filons quartzo-feldspathiques, localement pegmatitiques, recoupent ces formations.

c) Un peu plus haut, en bordure de l'Eau d'Olle, près des anciennes mines du Mollard, les roches encaissantes sont des gneiss plus ou moins rubannés, très riches en chlorites.

L'examen en lame mince de toutes ces formations montre des phénomènes de mylonitisation poussés à l'extrême, au point de rendre les éléments qui constituent la roche méconnaissables. Il ne subsiste plus que des minéraux d'altération : chlorites, séricites ; des quartz en mortier ; des plagioclases cassés à extinction onduleuse ; des lambeaux d'amphiboles, en relique dans un feutrage de minéraux micacés.

Ces phénomènes sont à mettre en relation avec le grand accident Nord-Sud qui constitue la limite Ouest du granite des Rissioux.

LA TRAVERSE, CHALET E.D.F. DE BATON. Pl. I.

C'est un chemin muletier qui, depuis La Traverse, permet d'accéder au Chalet de Bâton. L'itinéraire habituel pour se rendre aux anciennes mines des Chalanches emprunte ce chemin jusqu'à la Combe de la Balme.

A environ quarante mètres de la dernière maison de La Traverse affleurent des chloritoschistes localement écrasés, et dans ce cas, ils se délitent en plaquettes. La roche est très altérée, les chlorites seules étant reconnaissables à l'oeil nu. Avec HCl dilué, il y a effervescence.

Au microscope, des alternances de chlorites dérivées d'un minéral préexistant, non reconnaissable, se remarquent de suite ainsi que des feldspaths plagioclases très altérés en séricite et calcite xénomorphe.

Les macles très larges, dont subsistent des fantômes, font penser à un plagioclase basique.

Un minéral en grandes plages allongées, verdâtres, est pseudomorphosé par des chlorites, de la calcite et du sphène. Il pourrait s'agir d'une amphibole ou d'un pyroxène altéré. Dans les cassures, du sphène et du chlorinochlore s'individualisent en filonnets ; on y trouve parfois du quartz.

Ca et là, dans la roche, il y a des grains de quartz subautomorphe, soit à extinction normale, soit à extinction roulante.

A noter, en tant que minéral accessoire, de l'apatite en assez grande quantité.

Bien que la roche originelle ne soit pas reconnaissable, la richesse en sphène et en calcite fait penser à une formation volcanique contemporaine du dépôt des autres roches.

Une centaine de mètres plus à l'Est réapparaissent les micaschistes à grenats et lentilles de quartz bleuté. Le quartz renferme parfois des fragments d'éponte et même des grenats. L'ensemble des roches a une direction de 20° et un pendage de 20° N.W.

Le quartz allongé est fortement engrené. La biotite est le mica dominant. Très chloritisée, elle renferme des opaques

dans ses clivages. Un plagioclase très altéré se développe aux dépens des plages de chlorites qu'il corrode. Dans les lits micacés de la tourmaline fine, automorphe, de couleur bleutée peut être observée. De nombreuses plages de séricite renferment des lambeaux de disthène. Dans un grand cristal de disthène, partiellement transformé en muscovite, se trouve une grande clinozoisite. Des grenats cassés renferment des chlorites et du quartz plus ou moins automorphe.

Cette roche est un micaschiste à biotite, grenats et disthène. Une rétro-morphose a transformé les biotites en chlorites, le disthène en muscovite ; une légère métasomatose borée a abouti à la cristallisation de la tourmaline. Le plagioclase très altéré est à remettre à une albite, il y a donc présomption de métasomatose sodique.

Topographiquement au dessus de cet affleurement se trouve un contact net entre les micaschistes à grenats et des amphibolites ; ce contact se fait par l'intermédiaire de trois bancs de cipolins qui ont une puissance de quelques centimètres à une dizaine de centimètres ; bien cristallisés, ils ne semblent renfermer que peu de minéraux.

Des lames minces taillées dans les cipolins et dans la roche à amphiboles permettent d'en préciser les caractères pétrographiques.

Cipolins

La calcite, qui constitue la presque totalité de la roche, est en petits individus maclés, les macles tordues étant rares ; ceci tend à montrer que les efforts mécaniques subis par la roche étaient suffisamment intenses pour provoquer une recristallisation de la calcite. La calcite englobe parfois un pyroxène incolore, à grand angle d'extinction, qui est du diopside.

A proximité des épontes, la roche s'enrichit en quartz, oligoclase et actinote disposés en lits alternés avec la calcite. De rares chlorites et quelques grains de sphène sont liés à ces zones ; la calcite corrode tous ces minéraux.

Amphibolites

Située au toit des intercalations de cipolins, la roche est constituée :

- par des lits de hornblende verte, à texture nématoblastique, dont l'allongement est parallèle à la linéation de la roche ;
- par des lits de feldspaths non maclés, séricitisés, qui tendent parfois à corroder les amphiboles.

- Localement, de la biotite, elle-même transformée en pennine, se développe aux dépens des amphiboles. Les lamelles de micas ont la même orientation que les amphiboles.

Il faut noter que les biotites sont plus abondantes le long de zones de cataclase conformes au litage de la roche. D'autres cassures lui sont à peu près perpendiculaires ; elles sont remplies de quartz et de débris d'amphiboles transformés en épidote.

Les micas, eux, sont complètement décolorés.

Comme minéraux accessoires, il y a un peu de sphène et les opaques sont abondants. La roche ne renferme pratiquement pas de quartz, exceptés quelques cristaux sub-automorphes à extinction à peu près normale.

Un peu plus loin, le sentier traverse un gros affleurement de micaschistes représenté par la figure n°3.p.32bis. De bas en haut, l'affleurement se compose :

- de micaschistes à grenats et biotite. La roche est assez massive, le grain en est quartzitique, seules les biotites sont orientées.

- de grosses lentilles de quartz vitreux, mis en place dans une zone broyée. Ces amas de quartz de quelques mètres de longueur, quelques dizaines de centimètres de puissance, conformes au litage de la roche renferment du disthène et des lambeaux d'épontes riches en chlorites, grenats et disthène. Aux épontes, il y a un net enrichissement en disthène, en beaux cristaux bleu-clair, parfois tordus, atteignant plusieurs centimètres de longueur (photo n° 5, Pl. I).

- le sommet de l'affleurement, d'allure plus massive, renferme des amphiboles et des intercalations d'une roche éruptive. La direction de tout cet ensemble oscille autour de 15°, les pendages sont de 50° N.N.W.

Seront décrites ci-dessous les lames minces caractéristiques de ces différentes roches :

Micaschistes

Les minéraux principaux sont le quartz, la biotite, les grenats et l'andalousite. Le plus souvent, quartz et biotite sont étroitement associés ; la biotite est remplacée parfois par des pennines dont les fibres sont cimentées par du quartz en cristaux allongés, à extinction roulante.

Lorsque la biotite est assez abondante, elle est accompagnée de quelques plagioclases complètement séricitisés.

Lorsqu'elle ne subsiste qu'en lambeaux dans des plages de chlorites, il n'y a pratiquement pas de feldspaths. Le quartz peut être en individus engrenés à extinction fortement onduleuse, et il est toujours bourré d'inclusions. Les grenats, pour leur part, sont toujours cassés et contiennent dans leurs cassures de la biotite fraîche, de la muscovite et, plus rarement, du quartz automorphe. De grandes plages de produits micacés renferment encore des lambeaux d'andalousite et, accessoirement, notons quelques cristaux de tourmaline automorphe.

Éponte d'une lentille de quartz

Une lame mince faite dans une plage à disthène dominant, près de l'éponte d'une lentille de quartz, montre les principaux minéraux suivants :

- du disthène en grands cristaux tordus, renfermant des muscovites dans leurs clivages ; souvent, le disthène par remplacement de bordure se transforme en produits micacés.
- du staurotide, en cristaux automorphes, transformé à partir de ses bords en produits micacés.
- de l'andalousite qui subsiste en reliques dans des plages de pinnites. Entre ces minéraux se trouve de la biotite fraîche ou chloritisée.

Roche à amphiboles

La roche à amphiboles au sommet de l'affleurement est, en lame mince, constituée par une alternance de lits clairs quartzofeldspathiques et de lits foncés à hornblende verte dominante.

La hornblende, plus ou moins poecilitique, renferme du quartz et de l'apatite ; l'amphibole, parfois décolorée, peut être corrodée par des plagioclases renfermant 30 à 35 % d'anorthite. Les lits clairs se composent : de quartz assez abondant à extinction onduleuse, de plagioclase (andésine), de quelques lambeaux de chlorites dérivés de biotites. Les minéraux accessoires sont le sphène, l'apatite et des minéraux opaques. Ainsi, en première approximation, cette roche peut être rangée parmi les gneiss dioritiques.

Roche éruptive

Des phénocristaux de pennine et de calcite, de forme hexagonale, proviennent de l'altération d'un minéral préexistant. Peut-être s'agissait-il d'olivine ? Il n'est pas possible de conclure sur ce point important.

Des feldspaths complètement altérés occupent le fond de la roche ; la calcite hypidiomorphe s'y trouve en abondance et des baguettes de clinocllore représentent le dernier minéral formé. On note aussi de l'apatite aciculaire et une forte silicification de la roche ; le quartz est à extinction onduleuse.

Avec les réserves qui s'imposent, cette roche se rattache à la famille des spilites.

A cent mètres de là environ, un peu au-dessus du chemin, affleurent des roches bien litées, dont la direction est de 15° et le pendage de 50° N.W.

D'apparence très siliceuse, à grains fins, riches des chlorites qui leur donnent leur teinte dominante, ces roches constituent une alternance de bancs massifs et de bancs plus schisteux ; les bancs massifs correspondent à une roche volcanique interstratifiée, à phénocristaux vert-brun. Les roches des épontes sont des micaschistes. Un filonnet de quartz de 1 à 2 centimètres de puissance peut être suivi sur une vingtaine de mètres de longueur : il épouse très exactement les plissements de la roche.

Micaschistes

ils sont riches en chlorites déchiquetées dérivant de la biotite ; les rares plagioclases que renfermaient la roche sont séricitisés et de l'albite recristallise à leurs dépens ainsi qu'aux dépens des chlorites. Le quartz, assez abondant, est engrené ; il contient toujours beaucoup d'inclusions et il a une extinction fortement onduleuse. Quelques reliques de grenats sont complètement chloritisées.

De l'apatite, des opaques, quelques zircons arrondis sont les minéraux accessoires.

Une section polie permet d'observer d'assez nombreuses paillettes de graphite, de l'ilménite en plages déchiquetées ou en aiguilles étroitement associées au rutile. De grands cristaux de pyrite automorphe sont pseudomorphosés en limonite.

Roche éruptive

Il est impossible de dire si les phénocristaux résultent du remplissage de vacuoles ou si les pennines pseudomorphosent un minéral préexistant. Dans le fond de la roche se développent :

- des cristaux d'augite, très frais, automorphes ; ils peuvent aussi se développer parmi les chlorites remplissant les vacuoles.
- du quartz et de l'albite, vraisemblablement secondaires.
- des minéraux à habitus fibreux, très fins, qui appartiennent à la famille des pyroxènes.

La roche est par ailleurs recoupée de cassures qui sont remplies de quartz et de clinocllore.

Ici aussi, étant donnée l'absence d'observation plus fine, cette roche peut être rattachée aux basaltes, avec les réserves qui s'imposent.

Toujours sur le chemin, peu avant de traverser la Combe de la Vesse, sous des broussailles, affleure un banc de cipolin d'une puissance maximum de cinquante centimètres. Il affleure dans des roches d'apparence quartziteuse, riches en chlorites. Quelques mètres plus loin, trois autres bancs de cipolin sont interstratifiés dans les micaschistes. D'après la nature des roches encaissantes il ne semble pas y avoir de correspondance entre ces cipolins et ceux rencontrés précédemment ; la direction de l'ensemble est de 50°, le pendage 50° N.W.

Peu avant d'entrer dans la forêt, à quelques centaines de mètres de là, un banc de cipolin d'une trentaine de centimètres de puissance souligne un contact entre des micaschistes chloriteux et des amphibolites. Le cipolin renferme des fragments d'épontes très nettement boudinés (photo n° 3, Pl. I).

Cipolin

La calcite, en assez grands cristaux maclés, est assez peu tordue. Elle contient du quartz à extinction onduleuse, des grains de sphène ; les amas d'amphibole sont constitués par des lits de hornblende verte cassée le plus souvent suivant les clivages, avec déplacement relatif des morceaux d'un même individu. Les bordures effilochées des cristaux d'amphiboles, leurs cassures sont transformées en chlorites.

La hornblende est pseudomorphosée localement en zoïsite. Les noyaux d'amphiboles renferment aussi de l'épidote, du sphène et des feldspaths très altérés.

Les minéraux opaques dominants sont la pyrite et l'ilménite ; la chalcopryrite est beaucoup plus rare.

Amphibolite

Le litage de la roche est bien développé, souligné par les hornblendes vertes à allongement parallèle, excepté pour quelques phénocristaux. Les lits d'amphiboles sont séparés par des plagioclases très séricitisés, en général méconnaissables ; lorsqu'une détermination peut être tentée, elle aboutit à une andésine. Il n'y a pas d'albitisation dans cette zone. Certaines amphiboles se transforment en pennine par les bords.

Des zones de broyage, parallèles au litage de la roche, sont soulignées par une grande abondance de grains de sphène et d'épidote ; en même temps, les plagioclases sont plus intensément séricitisés et des grains de quartz secondaires, mais à extinction onduleuse, sont liés à ces zones de broyage, ainsi que de la calcite xénomorphe. Les hornblendes renferment souvent des cristaux d'apatite, des grains de quartz, des minéraux opaques. Tout le quartz contenu dans la roche semble secondaire,

provenant sans doute de circulations, comme le montre l'altération des amphiboles au voisinage des filonnets qui les recoupent. Il n'y a pas d'enrichissement notable en minéraux opaques dans les zones broyées avec lesquelles le quartz est en relation.

Après cet affleurement, une zone d'éboulis s'étend entre la combe de la Vesse et la Drayre de l'Aiguille. Le sentier traverse de nombreuses combes creusées par les intempéries dans des pierriers provenant du démantèlement des pentes supérieures. Peu après la traversée de la Drayre de l'Aiguille, on entre dans une zone extrêmement broyée, littéralement lardée de cassures remplies de calcite, de sidérose et d'oxydes de fer. La cataclase est si importante qu'il est difficile de se rendre compte de la nature exacte de la roche encaissante, qui peut être appelée gneiss chloriteux. Cette zone, traversée sur environ 250 mètres, se termine par des roches à amphiboles vertes, disposées en grandes dalles à orientation dominante N.W., recoupées par des filons quartzo-feldspathiques à orthose qui contiennent de rares chlorites.

Cette zone bréchique présente des niveaux amphiboliques riches en pyrite, des amas de quartz d'aspect lenticulaire, à épontes pyritisées. Des blocs de quartz renferment de beaux cristaux de pyrite en dodécaèdres pentagonaux bien développés.

Sous le recouvrement, dans des éboulis variés, un affleurement de quartz peut être suivi sur plusieurs dizaines de mètres. Sa direction est de 160° , le pendage de 80° Est. La structure du toit au mur est la suivante (Fig. n° 4, p. 32 bis).

une éponte pyritisée est séparée de la caisse filonienne par une salbande de terres rouges argileuses ; cette caisse débute par du quartz caverneux de quelques dizaines de centimètres de puissance.

La forme géométrique des cavités du quartz suggère la disparition de minéraux préexistants (périmorphose, Lacroix 1913) actuellement remplacés par des terres rouges et noires où subsistent de rares cristaux de galène. Le quartz devient ensuite plus clair ; il renferme de la pyrite, de la chal-

copyrite et un peu de blende mielleuse. Au contact avec le mur brèchique, sur quelques centimètres, le quartz est massif, de couleur blanche.

L'affleurement suivant, non loin de la bifurcation avec le chemin de Bâton moyen, est constitué par des amphibolites massives qui renferment des lits leucocrates et des lentilles de quartz vitreux. Sur la cassure de la roche, le litage est nettement visible lorsque les amphiboles sont abondantes. Les directions sont Est-Ouest et les pendages 45° Sud. Un peu plus loin, des amas pegmatoïdes, de même direction mais de pendage Nord semble-t-il, sont remarquables par le feutrage ^{d'amphiboles} qui suit leur toit. A noter, dans la roche encaissante, près du contact, un net enrichissement en pyrite et, à un degré moindre, en chalcopyrite.

Lits amphiboliques

En lames minces, le litage de la roche est encore souligné par l'orientation parallèle des hornblendes vertes ; celles-ci s'altèrent parfois et se pseudomorphosent en zoïsite et en chlorites. Certaines de ces chlorites polarisent en brun foncé et se développent de préférence le long des clivages de l'amphibole ; elles sont accompagnées de minéraux opaques aciculaires. D'autres cristaux d'amphibole sont complètement transformés en épidote ; cette dernière se trouve aussi, en compagnie de minéraux phylliteux, dans les feldspaths très altérés. Lorsqu'elle peut être tentée la reconnaissance des plagioclases montre qu'il s'agit d'andésine. Le sphène est très abondant, largement dominant par rapport aux minéraux opaques. Les minéraux accessoires sont l'apatite et le zircon tous deux en faible quantité.

Il ne semble pas que la roche soit albitisée.

Les extinctions onduleuses des rares plages de quartz secondaire montrent qu'elles furent affectées par les mouvements tectoniques.

Lits leucocrates

Les lits plus clairs de la roche renferment du quartz fortement engrené à extinction roulante, des feldspaths séricitisés dans lesquels on reconnaît des fantômes de macles de Karlsbad, sans pouvoir remettre le feldspath originel aux orthoclases ou aux plagioclases.

L'albite, limpide, recristallise parfois aux dépens des feldspaths. Ces lits contiennent aussi des lambeaux de hornblende verte qui, par endroits, se transforme en épidote. Des files de chlorites, dérivées sans doute d'amphiboles, soulignent les zones d'efforts tectoniques plus intenses.

Lits quartzofeldspathiques sécants

Ils recoupent la roche et leurs constituants principaux sont des feldspaths en grands cristaux cassés à macles souvent tordues, entourés par du quartz fortement cataclasé, présentent ainsi de belles textures en mortier.

Des chlorites assez rares sont disséminées dans la roche où l'on remarque un grenat automorphe dont la bordure est couronnée de chlorites : il s'agit d'une kéliphitisation typique.

Les roches, jusqu'à la bifurcation du sentier en direction des Chalanches, sont toutes de même direction, de même pendage et de même nature si ce n'est que les lits leucocrates deviennent prédominants.

L'amphibole, grandement altérée, devient un mélange de chlorites, zoïsite, sphène et opaques. Le quartz, bourré d'inclusions, à extinction fortement onduleuse, est plus abondant ; les plagioclases sont de l'andésine.

A la traversée de la Combe de la Balme affleure une zone broyée recimentée par des carbonates et des oxydes de fer ; il est cependant difficile de savoir si cette zone broyée est en place.

Sur le chemin qui conduit au chalet E.D.F. de Bâton, près de la source indiquée sur la carte, affleurent des bancs d'amphibolites orientés à 40° avec pendage Sud-Est. Des lentilles de quartz vitreux sont conformes au litage de la roche ; sur les joints, des plaquages de quartz étiré présentent des stries de glissement.

L'amphibole est une hornblende verte et les individus, souvent maclés, sont parallèles entre eux. Les phénomènes d'altération deviennent beaucoup plus rares ; il y a peu de sphène. Localement, les opaques, pyrite surtout, sont abondants. Des lits leucocrates à plagioclases indéterminables séparent les lits d'amphiboles. Certains feldspaths corrodent ces amphiboles et des plages séricitisées présentent des zones plus limpides d'albite. Aux épontes des lits de minéraux clairs, les amphiboles sont transformées en chlorites, grains d'épidote et sphène ; elles peuvent être localement biotitisées la biotite étant elle-même transformée en chlorite. L'apatite est le principal minéral accessoire.

Une lame mince, taillée à l'éponte d'une lentille de quartz montre un quartz fortement engrené à extinction roulante, de

grands feldspaths séricitisés ; des lambeaux de pennine et de petits cristaux d'épidote qui s'insèrent entre le quartz et les feldspaths.

Une section polie, taillée sur le contact d'un lit à amphiboles et d'un lit leucocrate permet d'observer de la magnétite automorphe, de l'ilménite contenant du rutile d'exsolution, des plages de chalcopryrite entourée de goethites, des cristaux de pyrite, souvent automorphes, pseudomorphosés par de la goethite qui la remplace en bordure ou dans les cassures.

Dans une plage leucocrate, chalcopryrite et magnétite sont plus abondantes que dans les niveaux riches en amphiboles.

En quittant la source, le sentier, par une série de lacets, s'élève ensuite dans une combe, jusqu'au Chalet E.D.F., but de cet itinéraire, sans rencontrer d'autre affleurement. La plate-forme sur laquelle fut construite le Chalet est une zone gneissique, extrêmement broyée et pyritisée. Au-dessous du chemin, un filon de quartz d'environ un mètre de puissance est localement enrichi en pyrite et en terres rouges. Ce filon s'est mis en place dans une zone de décollement des couches. La crête de Roche Berchon qui domine le Chalet est constituée par des amphibolites très plissotées dans le détail et très hétérogènes à l'observation macroscopique.

Un échantillon provenant de Roche Berchon (photo n° 2, Pl.I). montre à l'oeil nu une alternance de bancs verts, les uns à grain fin, les autres à grain plus grossier qui renferment de gros phénocristaux d'amphiboles ou de pyroxènes. Des niveaux leucocrates sont plissotés et parfois affectés par des microfailles.

- Les lits à grain fin contiennent des plagioclases très altérés, des amphiboles de la famille des hornblendes, des pyroxènes qui, par leur bordure ou par plages, se transforment en ouralite. Les pyroxènes montrent des minéraux opaques et des produits micacés dans leurs clivages ; ils peuvent inclure aussi des grains de sphène ou de leucoxène.

Les amphiboles sont cassées, en général sans déplacement relatif ; le pléochroïsme, dans les teintes vertes est plus faible que dans les hornblendes fraîches ; elles renferment parfois poecilitiquement de l'apatite et du quartz à extinction onduleuse.

- Les lits à grain grossier sont constitués par des pyroxènes, parfois en phénocristaux, qui atteignent un centimètre ; ils

sont bourrés d'opakes, particulièrement le long de leurs clivages. Les parties leucocrates de la roche se composent de plagioclases où l'on reconnaît de l'andésine sans pouvoir toutefois préciser sa teneur en anorthite.

Les minéraux accessoires sont des opakes parmi lesquels de la pyrite, rarement de la magnétite et de l'apatite.

- Un lit gris-clair à grain fin fait effervescence avec HCl dilué.

En lame mince, la calcite et des plagioclases séricitisés sont à noter. La calcite, xénomorphe, pseudomorphose des cristaux plus ou moins automorphes qui à l'origine pouvaient être des amphiboles ou des pyroxènes.

Des filonnets de quartz très fortement engrenés, à extinction onduleuse, recourent la roche. Ce quartz inclut souvent de la calcite et parfois des grains d'épidote. Un peu d'albite accompagne le quartz et recristallise parfois dans les plagioclases altérés, au voisinage des filonnets.

Si le filonnet recoupe des amphiboles il n'en déplace pas les différents morceaux, mais, le long de la cassure, les amphiboles sont transformées en zoïsite.

Bien que les plagioclases n'aient pu être déterminés le faciès de cette roche permet de la ranger dans la famille des gabbros au sens large du terme, la roche à grain fin étant le faciès plus nettement éruptif d'une roche de la même famille ; les filonnets de quartz appartiennent à un phénomène postérieur à la mise en place de ces roches.

En résumé, l'itinéraire n° 2 permet de recouper un grand nombre de formations lithologiquement très différentes.

- Les formations rencontrées jusqu'à la Combe de la Vesse avec leurs séricitoschistes et leurs micaschistes à minéraux, les roches éruptives interstratifiées ou intrusives, les cipolins et les amphibolites peuvent être rattachées à une phase éruptive géosynclinale, préorogénique. Ces roches, uniques dans la région étudiée, sont situées en dessous de la série où dominent les amphibolites que l'on rencontre vers la Draye de l'Aiguille et ont une puissance d'une centaine de mètres.

- Après la Combe de la Vesse, l'itinéraire recoupe des amphibolites feldspathiques bien litées, avec venues quartzofeldspathiques et lentilles à structure pegmatitique, et, près de Roche Berchon, des formations à

caractère de gneiss amphibolique avec passées gabbroïques interstratifiées.

- ITINÉRAIRE N° 3 -

CHALET E.D.F. DE BATON, LES CHALANCHES, LA GRANDE ROCHE, LE CHAZEAU.

Les affleurements qui jalonnent la traversée de Bâton à Clot Chevalier sont constitués par des amphibolites souvent très plissotées dans le détail, localement pyritisées, renfermant parfois des amas de calcite très blanche.

En lame mince, ces amphibolites présentent les mêmes caractères que celles de la source située sur le chemin de Bâton (itinéraire n° 2).

La combe, à droite du point côté 1719 m, est formée par des amphibolites en bancs très redressés de quelques dizaines de centimètres de puissance. En rive gauche du ravin, une cassure dont l'affleurement est sensiblement Nord-Sud, remplie de calcite, sidérose et oxydes de fer pulvérulents, renferme à son toit une roche éruptive semblable à celle décrite page 17.

Cette passée bréchique recoupe un lit d'amphibolites pyritisées. Il n'y a pas à l'intersection d'enrichissement en minéraux métalliques ; un peu au dessus affleure un niveau très clair, d'aspect quartzitique, que nous retrouverons plus loin.

L'examen au microscope permet de voir du quartz représentant à peu près 50 % des minéraux ; il est en grandes plages qui contiennent plusieurs individus fortement engrenés, à extinctions onduleuses indépendantes.

Les feldspaths sont de deux sortes : des oligoclases très séricitisés, maclés albite karlsbad péricline qui renferment 25 % d'anorthite ; de l'albite qui recristallise parfois aux dépens de l'oligoclase ou des minéraux phylliteux qui ne subsistent que sous forme de rares lambeaux.

Un lit plus riche en minéraux micacés contient des pennines qui dérivent de biotites. Des grenats, complètement chloritisés, recoupent les minéraux micacés.

La Combe de la Balme sépare deux groupes d'anciennes mines : les galeries de Clos Chevalier, au pied de l'éperon Sud-Est de Clos Chevalier, et les galeries des Chalanches situées sur le versant Sud de la montagne des Pisses (2 243 m).

La Combe de la Balme est l'ancien cirque d'un glacier suspendu.

Parmi les éboulis qui en jalonnent le fond et les flancs il est impossible de séparer les terrains morainiques des éboulis récents. Sur le flanc Sud-Ouest de la montagne des Pisses, deux anciennes fenêtres qui servaient à évacuer les stériles se remarquent immédiatement grâce aux éboulis de couleur rouge dont la morphologie tranche nettement sur celle des éboulis naturels. Ces fenêtres figurent sur la carte au 1/20 000.

En rive gauche du torrent de la Balme, sur un éperon rocheux, subsistent les vestiges des bâtiments construits lors de l'exploitation des mines. Le long de l'arête qui, des ruines, conduit au sommet de la montagne, siège de l'exploitation principale, affleurent sur une puissance d'environ 3 mètres des amphibolites.

La taille des amphiboles est de l'ordre du centimètre.

Des oxydes de fer abondants colorent en rouge l'affleurement qui contient peu d'éléments leucocrates.

L'examen au microscope montre que les amphiboles sont des ouralites.

Le pyroxène a un angle d'extinction supérieur à 20° avec teinte de polarisation du second ordre ; sa couleur est vert-jaune pâle et il a un net pléochroïsme.

Ce pyroxène est à rapporter à l'augite. Les amphiboles qui entourent les pyroxènes ou qui sont incluses poecilolithiquement par ce dernier sont bien maclées et ont une teinte de polarisation assez vive ; elles sont voisines des actinotes.

Amphiboles et pyroxènes voient se développer une biotitisation le long de leurs nombreuses cassures, dans les clivages et parfois même par plages.

La biotite est d'apparence remarquablement fraîche et elle n'est pratiquement jamais séricitisée.

Les éléments leucocrates en faible proportion se composent de feldspaths indéterminables et de quartz engrené à extinction onduleuse ; les feldspaths ne corrodent pas les ferro-magnésiens.

Au dessus de l'affleurement des amphibolites un niveau pyriteux de 4 à 5 mètres de puissance prend la montagne en écharpe sur le versant Sud. C'est à proximité de ce niveau que sont situées les entrées des galeries des Chalanches. Des gradins qui proviennent de dépilages de surface sont encore visibles. Au dessus du niveau des fenêtres, un deuxième affleurement pyriteux a une puissance de l'ordre du mètre.

La pyrite de ces deux niveaux est fortement altérée. Autant qu'on puisse s'en rendre compte la roche encaissante est un gneiss gris à niveaux ocellés et à niveaux plus fins.

Ce gneiss, lorsque l'observation en lame mince n'est pas rendue impossible par l'abondance des minéraux supergènes dérivés des pyrites, montre de la biotite très chloritisée mais encore reconnaissable ; elle peut être corrodée par de l'albite et recoupée par des grenats automorphes cassés mais sans altération secondaire. Du quartz hypidiomorphe, fortement tectonisé mais sans structure en mortier, moule des feldspaths qui sont de l'albite. A côté de l'albite, d'autres plagioclases complètement séricitisés sont observés. Les différences de taille des grains, lits fins-grains de l'ordre du millimètre, lits grossiers-grains de l'ordre du demi centimètre, ne correspondent pas à des différences minéralogiques notables.

Un autre échantillon prélevé à l'Ouest du sommet a un grain beaucoup plus grossier avec des minéraux de plusieurs centimètres. Sa composition minéralogique est la même que celle du gneiss précédent, mais tous les minéraux sont plus fortement altérés.

La biotite est transformée en pennine et autres chlorites renfermant des aiguilles enchevêtrées d'opaques. Les grenats sont complètement chloritisés et la teinte de polarisation des agrégats de chlorites est très basse. Les plages de quartz, granulées à l'extrême, présentent de belles structures en mortier. Les plagioclases, qui contiennent parfois des chlorites ou du quartz à extinction normale, sont méconnaissables. L'un d'eux englobe un grenat non chloritisé.

Le sommet de la Grande Roche est constitué par des amphibolites bien litées. L'état des affleurements ne permet pas de voir comment se fait

le contact entre les amphibolites et les gneiss. Les sommets secondaires cotés 2 418 m et 2 211 m sont formés aussi d'amphibolites.

Du sommet des Pisses pour aller à la Grande Roche (2 483 m) il faut traverser les Sagnes, grand cirque rempli d'éboulis non classés, partie glaciale, partie éboulis de pente. En rive gauche des Sagnes se trouvent de très mauvais affleurements constitués de roches à amphiboles.

Le versant Ouest de la Grande Roche est formé de dalles inclinées de 30 à 40°, de direction N.N.E. et de pendage N.W.

Les sommets secondaires situés au pied de la Grande Lance d'Allemont montrent des roches de même direction, extrêmement rouges. Il s'agit de roches à amphiboles plus ou moins gneissiques, fort riches en pyrite ; celle-ci, en s'altérant, donne à la roche sa patine rouge caractéristique. Ce niveau est très semblable au niveau pyriteux principal des Chalanches. Dans ces roches on observe aussi parfois de la chalcopryrite, mais en faible quantité.

C'est par une grande zone d'éboulis qu'il est possible d'arriver au Chalet du Chazeau, sur le chemin de la Combe au Lac de Belledonne. Sur la gauche, le Grand Charnier (2 777 m) est constitué par des micaschistes et gneiss extrêmement contournés. Plus bas, la Barre des Ecus est prise en écharpe par le niveau rouge rencontré plus haut ; d'apparence régulière, ces formations sont fortement cassées dans le détail par des failles normales à faible rejet. Dans les éboulis se trouvent des fragments de filons de quartz bien cristallisé, les cristaux délimitant, à partir des épontes, des cavités remplies de limonites. Des blocs, à l'apparence scoriacée, très fragiles, sont fort riches en graphite ; il subsiste en placages brillants sur des stries de glissements. La pyrite est abondante.

En lame mince, le quartz apparaît comme l'élément dominant ; bourré d'inclusions, d'aspect quartzitique, son extinction est à peu près normale par rapport au quartz observé dans d'autres formations. Quelques chlorites sont disséminées entre les cristaux de quartz.

La partie basse de la Barre des Ecus est à nouveau constituée par des amphibolites, séparées des formations précédentes par un niveau très clair.

Près de la source du Chalet du Chazeau, et un peu au-dessous de ce dernier, se retrouve la formation de micaschistes très siliceux, riches en grenats déjà rencontrés à la Traverse.

Ainsi donc, l'itinéraire n° 3 permet de suivre d'abord des amphibolites puis, en montant au dessus des Chalanches, de traverser des formations à caractère gabbroïque, des gneiss gris, assez semblables à ceux de la Traverse mais très pyritisés. Tous ces affleurements sont brouillés à l'extrême, les roches mêmes étant difficiles à reconnaître à cause de leur pyritisation et des phénomènes d'altération superficielle qui en découlent. Le sommet de la montagne montre à nouveau des amphibolites.

La face Nord-Ouest de la Grande Roche est formée, à la base, par des micaschistes à grenats complètement chloritisés, surmontés par des gneiss albitiques à faciès leptynitiques qui constituent, dans la topographie, un niveau blanc, d'apparence quartzitique, bien repérable. En se dirigeant à l'Ouest, vers la Grande Lance d'Allemont, affleurent des formations à amphiboles riches en pyrite.

Afin de compléter les observations géologiques et pétrographiques, il convient de décrire deux affleurements importants situés en dehors des itinéraires suivis.

- Base de la Grande Roche

Sur le chemin des Chalmettes qui, du Chazeau, permet de rejoindre les Chalanches à flanc de montagne, les formations amphiboliques sont bien représentées par des gneiss amphiboliques pauvres en éléments leucocrates, de direction générale 20° et de pendage 25 à 30° N.W. Interstratifiées dans ces gneiss, des lentilles très riches en grosses amphiboles sont accompagnées d'une silicification et d'une pyritisation des épontes. Des bancs quartzo-feldspathiques d'une puissance de l'ordre du centimètre ou du mètre recoupent ces formations ou y sont interstratifiées.

1) Les gneiss encaissants (photo n° 4, Pl. I).

Ils sont constitués par une alternance de lits mélanocrates, à amphiboles dominantes, très fortement plissotées, et de lits leucocrates où subsiste une orientation des minéraux, orientation qui mime, avec un fort amortissement, les plissements des lits riches en amphiboles.

- Lits leucocrates

Ils sont constitués par une alternance de niveaux riches en chlorites et de niveaux à éléments quartzofeldspathiques dominants. Leur texture est granonématoblastique à granoblastique. Les chlorites sont des pennines déchiquetées entre les fibres desquelles se trouvent du quartz mylonitisé et des petits grenats de néoformation, peu cassés et pas chloritisés qui se développent aux dépens des minéraux micacés. Les feldspaths sont des plagioclases, andésines à 39 % d'anorthite et oligoclases à 25 % d'anorthite. Quelques-uns sont zonés, la partie extérieure étant la plus acide. Ils sont maclé albite et péricline, plus rarement karlsbad. Les oligoclases renferment parfois poecilite du quartz subautomorphe. Entre les plagioclases, de grandes plages de quartz sont peu cataclasées et leur extinction est presque normale. L'apatite, comme minéral accessoire, est assez régulièrement répartie.

- Lits mélanocrates

de texture lépidoblastique, les lits riches en amphiboles sont constitués par des hornblendes vertes (80 %) remarquablement alignées, extrêmement plissotées, parfois cassées au point d'inflexion maximum. Le feldspath plagioclase, seul élément leucocrate, est une andésine à 38 % d'anorthite, parfois à extinction onduleuse.

2) Les amas riches en amphiboles

Au microscope, la texture apparaît lépidoblastique, la plus grande partie de la roche (50 à 60 %) étant constituée par des ouralites ; en leur centre, des reliques de pyroxènes, de forme octogonale, sont bourrées d'opaques et de paillettes micacées. Le feldspath, lorsqu'il est reconnaissable, est un labrador à 60 % d'anorthite. L'apatite est abondante, en gros cristaux automorphes. L'épidote, souvent étroitement associée au sphène et au rutile, semble être un minéral secondaire. Il n'y a pas de quartz.

Les minéraux opaques observés en section polie sont :

1- de la pyrite subautomorphe entourée de minéraux d'altération de la famille des goethites, 2- de la pyrrhotine, en petits grains isolés ou associée à la pyrite, sans relation,

semble-t-il, avec cette dernière, 3- de l'ilménite, à exsolutions de rutile, plus particulièrement liée aux amphiboles ; il y a aussi quelques phénocristaux de magnétite.

3) Les filons quartzofeldspathiques

interstratifiés ou sécants, ils sont constitués par de l'albite (10 % An.), du quartz à caractères optiques presque normaux, des lambeaux de chlorites, un peu de sphène et d'épidote.

Un filon de même nature, concordant avec la roche encaissante, renferme une grande quantité de magnétite en cristaux automorphes.

L'étude de cet affleurement permet de le comparer à celui de Roche Berchon (Itinéraire n° 2, p. 23), en raison de la présence des lits à net caractère gabbroïque (pyroxènes monocliniques et plagioclases basiques), encaissés dans un gneiss amphibolique.

- Flanc Nord de la Barre des Ecus

La face Nord de la Barre des Ecus constitue la rive droite du grand cirque glaciaire occupé par le Lac de Belledonne. C'est un empilement de grandes dalles de direction N.E., de pendage avoisinant 40° N.W. Elles sont formées de niveaux quartzofeldspathiques alternant avec des lits micacés et des lits à amphiboles vertes ou à épidote.

L'examen en lame mince montre que les produits micacés sont des pennines associées à d'autres chlorites à très basse teinte de polarisation.

Les amphiboles sont des hornblendes vertes plus ou moins poecilites qui renferment du quartz et de l'apatite.

Les lits à épidote largement dominante sont des zones de cataclase intense ; l'épidote dérive des amphiboles et elle est, de temps à autre, corrodée par des feldspaths complètement séricitisés. Le quartz, primaire, intensément cataclaté est abondant.

Les lits leucocrates renferment parfois des grenats de néoformation. Le sphène et l'apatite sont assez régulièrement répartis dans l'ensemble de la roche.

Des sections polies faites dans les roches riches en pyrite permettent d'observer, à côté de la pyrite largement dominante, de la chalcopryrite et de la pyrrhotine.

Au pied de la face Nord de la Barre des Ecus, il existe des excavations aux trois quart refermées qui pourraient bien être des anciennes galeries de mines.

En surface, des tranchées subsistent qui semblent être des dépilages dans des formations d'allure filonienne. L'absence, en place dans la roche ou dans les éboulis, de blocs à minerai de fer permet d'écarter l'hypothèse d'une exploitation pour fer. Il reste la possibilité d'une mine pour métaux précieux. La tradition locale situe dans cette zone d'anciennes mines d'or. Il serait bon de vérifier cette hypothèse dans le cas où serait étudiée la géochimie de l'or dans la partie Sud de Belledonne.

La description de ces itinéraires va permettre de tenter une intégration des observations précédentes dans le schéma structural de Belledonne. L'étude des roches ignées, celle du métamorphisme, permettront de préciser l'histoire géologique de la région. Les formations de couverture qui ne jouent ici qu'un rôle statique seront notées par la suite. Avec l'étude tectonique, la mise en place du cadre géologique des mines de la région d'Allemont sera terminée.

II.- LES FORMATIONS DU SOCLE

A.- Description lithologique des séries métamorphiques

(Fig. N° 5 , p. 33 bis)

1) Série brune

Elle groupe les gneiss d'Allemont et de la Traverse ainsi que leurs faciès embréchitiques et migmatitiques. Leur limite supérieure est constituée par les micaschistes à grenats. R. Michel et P. Barthet (1958) séparent les gneiss d'Allemont des micaschistes et leptynites à passées d'amphibolites de Pont Rattier. Un contact anormal empêcherait de voir la relation entre les deux formations. A l'observation microscopique, ces formations de Pont Rattier montrent surtout une intense mylonitisation grâce à quoi elles acquièrent un faciès différent, sans que des variations pétrographiques puissent être mises en évidence.



Fig N° 3. - Croquis de l'affleurement décrit p. 21. I - Amphibolites à lentilles de roche éruptive ; 2 - micaschistes à lentilles de quartz, disthène etc... 3 - micaschistes à grenats.

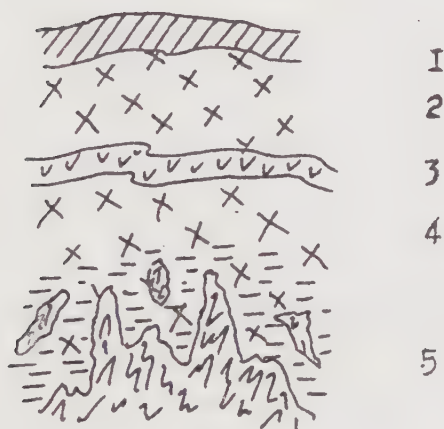


Fig. N° 2. - Coupe de la Série brune. Itinéraire N° I.

I - micaschistes à grenats ; 2 - gneiss chloriteux ; 3 - amphibolites ; 4 - gneiss chloriteux embréchitique ; 5 - migmatites.

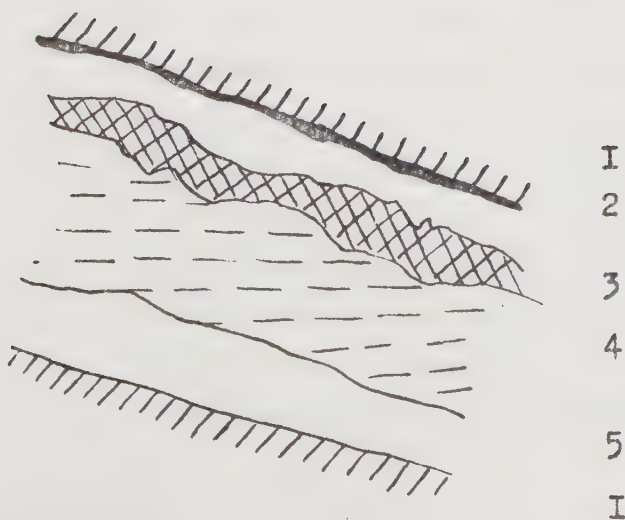


Fig N° 4. - Schéma du filon encaissé dans la zone broyée du chemin de Bâton.

I - Roche encaissante ; 2 - salbande argileuse ; 3 - quartz caverneux, terres rouges et noires, galène ; 4 - quartz à pyrite, chalcoppyrite, blende 5 - quartz blanc massif.

La remarquable continuité des micaschistes à grenats, suivie de la vallée de la Romanche à la rive gauche du torrent du Mollard, leur pendage N.W. et leur direction N.N.E., la continuité du niveau d'amphibolites rencontré en affleurement à Pont Rattier, au-dessus du Villaret, et dans les travaux souterrains de ce quartier (Erard, 1898) conduisent à penser qu'il s'agit d'une seule et même formation.

Il est possible que certaines roches des Chalanches, les gneiss gris en particulier, fassent partie de la série brune. En raison des difficultés d'observation, l'étude de cette zone sera complétée plus tard, après l'examen tectonique et structural de la région.

2) Série verte

Décrite surtout au cours de l'itinéraire n° 2, elle est constituée à sa base par des formations d'origine volcanique, "basaltes", " spilites ", interstratifiées ou recoupant les roches encaissantes qui sont des micaschistes, des amphibolites dérivées de tufs volcaniques et des cipolins. Ces roches variées, d'une puissance de l'ordre d'une centaine de mètres, ne sont bien visibles qu'entre le hameau de la Traverse et la Combe de la Vesse. Il est possible que d'autres roches, très chloriteuses situées à la base des formations amphiboliques (rive droite de Combe Gilbert) soient de même nature.

Au dessus débutent des amphibolites feldspathiques bien litées, riches en titane et en sulfures, avec venues quartzofeldspathiques conformes à la schistosité ou bien la recoupant. Ces amphibolites se retrouvent jusqu'à la source située sur le chemin de Bâton. Les roches à caractère gabbroïque de Roche Berchon et de la base de la Grande Roche, mises en place dans des gneiss amphiboliques avec ou sans grenats, constituent le sommet de la série verte. Le niveau amphibolique recoupé lors de l'exploitation des Chalanches et rencontré au cours de l'itinéraire n° 3 dérive aussi d'une roche où dominaient les pyroxènes monocliniques uralitisés par la suite. Leur transformation partielle en biotite résulte d'une métasomatose potassique (Turner, 1960) particulièrement nette aux Chalanches. A noter également ^{dans} les gneiss encaissants une

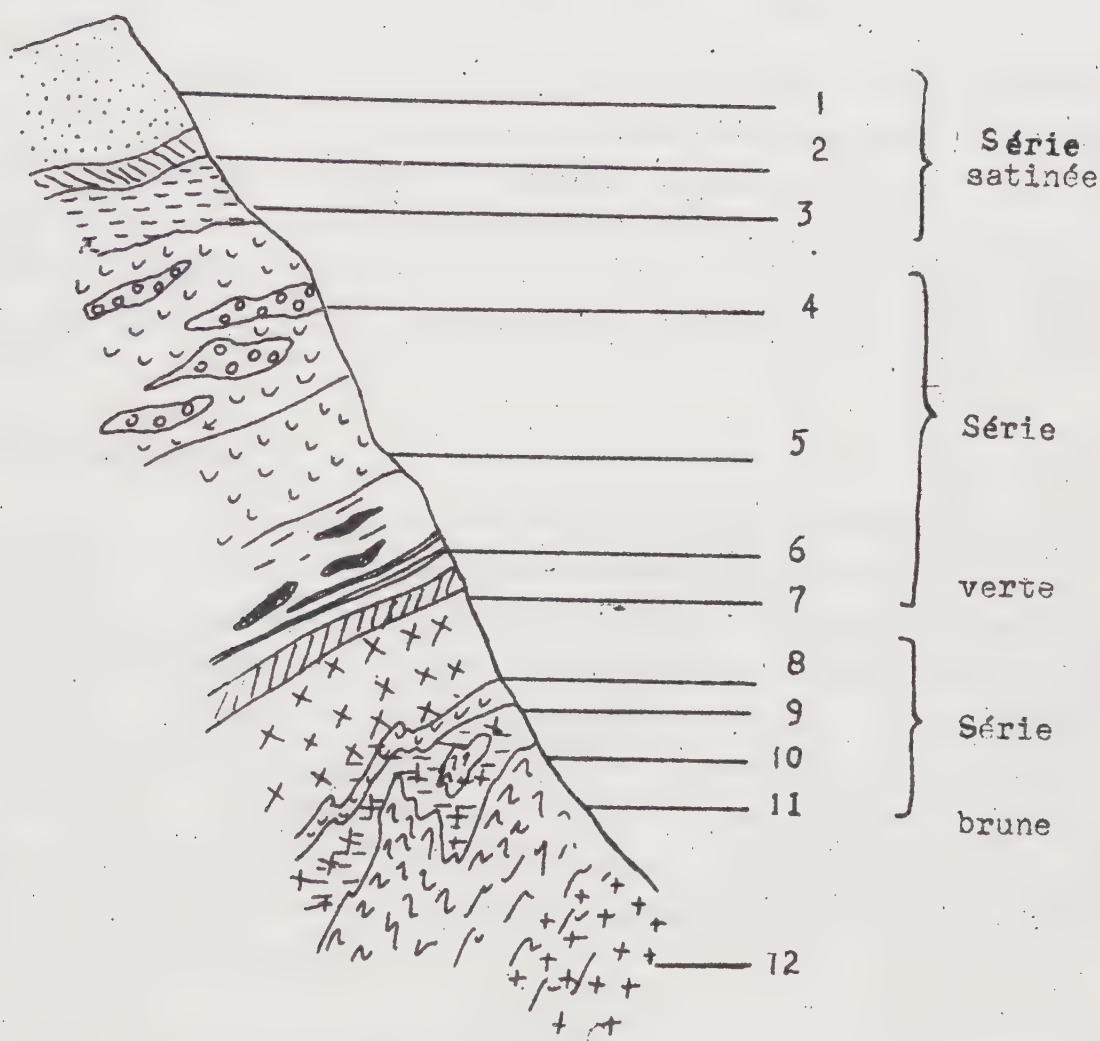


fig. n° 5.- Succession lithologique dans la région d'Allemont.

I- tufs acides recristallisés ; 2- micaschistes à grenats chloritisés ; 3- gneiss albitiques ; 4- amphibolites à passées gabbroïques ; 5- amphibolites feldspathiques ; 6- chloritoschistes, amphibolites, cipolins, roches éruptives ; 7- micaschistes à grenats ; 8- gneiss chloriteux ; 9- amphibolites ; 10- embréchites ; 11- migmatites ; 12- granite .

légère biotitisation des amphiboles avec, de plus, une métasomatose sodique marquée par une faible albitisation. La chloritisation locale des amphiboles et des biotites associées est un phénomène métasomatique remarquablement visible le long des zones de cassures ou des plans de glissement ; dans ce cas, il y a formation de sphène et d'épidote.

La texture des roches qui composent cette série, leur richesse en titane, la composition de leurs plagioclases conduisent à rattacher cette série verte à une série d'origine volcanique basique. Un problème demeure posé, qui sort du cadre de cette étude : la relation entre le complexe basique et ultra-basique de Chamrousse - Lacs Robert, étudié par E. den Tex (1950) et les roches à faciès gabbroïque du sommet de la série verte.

3) Série satinée

Elle affleure à la Grande Roche, particulièrement sur sa face Nord-Ouest, et elle a été décrite plus particulièrement p. 31. A la base de cette série se trouvent des micaschistes à grenats complètement chloritisés, des gneiss albitiques à faciès leptynitiques, formations très dures qui, à l'oeil nu, ressemblent à des quartzites. Le sommet de la série, telle qu'elle est représentée sur le terrain étudié, est une alternance de lits amphiboliques et de lits quartzofeldspathiques renfermant du quartz primaire ; ces roches semblent dériver d'une série volcanique acide à caractère kératophyrique, marquée par une grande abondance de tufs recristallisés.

B. - Les Roches ignées

1) Les roches volcaniques

Deux formations différentes à caractère effusif ont été décrites. Elles ont été rattachées, l'une aux trachyites, l'autre aux basaltes. En raison de l'altération poussée de ces roches qui rend nombre de leurs constituants indéterminables, leur étude précise n'a pas été entreprise ici.

Les "basaltes" sont interstratifiés près du contact série brune série verte. Les spilites ont été observées en deux gisements différents, soit en amas dans la roche à amphiboles, soit dans une cassure, près de Clos Chevalier (Itinéraire n° 3). Le problème des roches volcaniques des massifs cristallins externes fait l'objet d'études détaillées aux Laboratoires de Géologie de Grenoble et de Genève. Un fait important est à retenir : ces roches sont liées au socle et elles sont contemporaines de la sédimentation ou postérieures à cette dernière.

Un fort métamorphisme a affecté les "basaltes" interstratifiés provoquant le développement de pyroxènes ; les spilites sont le siège d'une altération superficielle et d'une néoformation de minéraux tels que le clinocllore. Une métasomatose sodique s'y est développée.

C'est une phase volcanique post-orogénique qui est responsable du dépôt des cinérites interstratifiées dans le houiller de la Grande Lauzière (1).

2) Les filons quartzofeldspathiques

Ces formations interstratifiées ou à mode de gisement filonien ne sont pas rares. La mise en place de ces roches peut en première hypothèse être reliée à la mise en place du granite des Sept Laux ou à la migmatisation de la série brune.

C.- L e M é t a m o r p h i s m e

Un métamorphisme général a affecté l'ensemble des formations anté-houillères. Vers la fin de la phase de plissement majeure, qui conduisit ces formations à l'état de socle induré, se sont mis en place des granites accompagnés localement d'une migmatisation des roches encaissantes. Plus tard, la région, placée dans des conditions moins profondes, a subi une intense rétro-morphose marquée par des phénomènes de mobilisation et en particulier une métasomatose sodique et borée.

(1) - Important affleurement de houiller en chapeau sur un sommet au N.W. des Chalanches.

1) Métamorphisme général

D'âge anté-houiller, le métamorphisme général s'est développé au cours du dépôt des sédiments qui constituent maintenant les formations les mieux représentées dans Belledonne. L'intensité du métamorphisme se situe entre la base des micaschistes inférieurs et le sommet des gneiss supérieurs de J. Jung et M. Roques (1952) ; en prenant la nomenclature des auteurs scandinaves le faciès de ce métamorphisme oscille dans les zones amphibolites et amphibolites épidote.

Les minéraux du métamorphisme général, disthène, andalousite, staurotide en particulier, sont localisés au sommet de la série brune, au dessus des gneiss à faciès d'embréchites ocellées. Ils se retrouvent souvent au voisinage d'accidents qui, peu visibles actuellement, ont selon toute vraisemblance été le fait marquant d'une phase tectonique où dominaient les phénomènes de semi-profondeur. La coexistence dans une même lame mince d'un minéral "stress" comme le disthène et d'un minéral "anti-stress" comme l'andalousite conduit à envisager soit le développement des minéraux du métamorphisme de contact à proximité du granite des Rissieux et la migmatisation qui leur est subordonnée, soit des recristallisations de minéraux au voisinage de zones tectoniques qui facilitent les échanges de matière.

2) La rétromorphose

Les phénomènes rétromorphiques peuvent être classés en :

- Néoformations

a) Apparemment sans apport ; chloritisation des biotites, des amphiboles, des grenats ; ouralitisaiton des pyroxènes ; séricitisation des feldspaths, de l'andalousite, du disthène.

Ces remplacements sont généralement métasomatiques.

b) Apparemment avec apport, sodique pour l'albitisation, potassique pour la biotitisation des amphiboles, boré pour la néoformation des tourmalines. Ces néoformations paraissent métasomatiques pour l'albite et la biotite, concrétionnaires pour la tourmaline.

- Remarques : - La chloritisation des biotites est beaucoup plus faible dans les migmatiques de la région des Granges en ce qui concerne la deuxième génération de biotite.
- Lorsque les amphiboles sont partiellement transformées en biotite, cette dernière a été plus ou moins complètement transformée par la suite en chlorites.

- Remplissages de fractures

Ils sont quartzoalbitiques en général et en filonnets qui recoupent la roche encaissante. Une altération notable des épontes les accompagne : séricitisation intense des feldspaths, chloritisation plus poussée des biotites, altération des amphiboles qui se transforment en épidote ou en zoïsite avec individualisation de granules de sphène. Ces phénomènes ont pu s'accompagner de libération de calcium que l'on retrouve sous forme de carbonates hypidiomorphes répartis dans les interstices de la roche ou s'individualisant en filonnets dans les cassures.

Il convient de noter la convergence de ces transformations qui tendent à stabiliser une association minérale comportant essentiellement séricite, chlorite, albite, épidote, éventuellement quartz et calcite. Les formations métamorphiques prennent ainsi place dans le faciès prasinite des auteurs scandinaves ou le faciès micaschiste supérieur de J. Jung et M. Roques (1952).

La transformation rétro-morphique est d'autant plus intense que la roche transformée a subi un broyage préalable; les néoformations se développant apparemment plus facilement à partir de minéraux granulés (Harker, 1932).

Ainsi s'expliquent l'altération plus forte des épontes des fractures, la rétro-morphose très poussée dans les formations de Pont Rattier, les zones de cataclase intense où les amphiboles, par exemple, sont complètement transformées en épidote.

III.- LES FORMATIONS DE COUVERTURE

La couverture ne subsiste qu'en lambeaux sur le terrain étudié. Elle est représentée par du Houiller et du Lias.

A.- Le Houiller

Près de Chalanches, le seul affleurement se trouve au sommet de Clos Chevalier. Héricart de Thury le décrivit en 1794.

Il rapporte l'existence de trois veines de charbon dont la plus importante a trente centimètres de puissance. Pendant la période d'exploitation des mines, une galerie y fut ouverte afin d'abattre le charbon nécessaire au chauffage des mineurs. Par la suite, cette galerie, abandonnée, s'effondra et son emplacement est actuellement marqué par une source.

L'ensemble de l'affleurement a un pendage de 30° à 40° Sud, extrêmement fauché et poussé au vide ; seul l'examen des déblais permet d'avoir une idée de sa composition. On y trouve des conglomérats, des grès, des shales et des couches à anthracite.

Afin de compléter la description du Houiller, il convient de parler ici d'un important affleurement situé en dehors du terrain étudié. Il s'agit du chapeau de Houiller qui couronne la Grande Lauzière. Discordant sur le socle, il dessine un mouvement synclinal à grand rayon de courbure. L. Moret (1945) et A.C. Tobi (1958,a) l'étudièrent. L. Moret data Westphalien D la base du Houiller, grâce à la découverte de Mixoneura et, au-dessus, détermina Pecopteris arborescens ce qui lui permit de classer ces couches dans le Stephanien inférieur. L'existence de fossiles d'eau douce, à l'exclusion de fossiles marins, montre que les conditions de dépôt de ces sédiments sont semblables à celles du Houiller du Massif Central. A la Grande Lauzière, des tufs volcaniques gris-clair sont interstratifiés ; A.C. Tobi les rattacha au volcanisme orthophyrique.

Les conglomérats de base du Houiller, peu développés, renferment des galets de quartz et de serpentine.

Sur le sommet de la Grande Lauzière existe une profonde dépression entourée de débris de schistes. Il s'agit d'une ardoisière sans doute très ancienne étant données les conditions d'exploitation difficiles.

Les schistes houillers qui ne sont ni calcaires ni pyriteux devaient être d'une meilleure qualité que les schistes du Lias exploités par la suite.

B.- L e L i a s

Il n'affleure qu'au niveau de la vallée, près des hameaux des Pernières et d'Allemont. Deux carrières y étaient ouvertes en vue de l'exploitation d'ardoises au début du XXe siècle.

Très calcaires, d'une couleur bleutée, ces terrains du Lias furent soumis à une tectonique intense. Ils renferment des amas et filonnets de quartz et de calcite d'exsudation. Des moules de fossiles pyritisés sont étirés ; la pyrite, s'altérant à l'air, se transforme en un remplissage friable de limonite et d'aiguilles de gypse.

Les calcaires du Lias représentent la couverture glissée des massifs cristallins externes, couverture décollée à partir des niveaux gypseux du Trias. Près d'Allemont le Lias est en contact par faille avec les formations cristallophylliennes ; selon toute vraisemblance ce contact anormal est dû à la subsidence du fond du "synclinal" liasique de la vallée de l'Eau d'Olle.

Les exploitations minières situées à proximité de cet accident tectonique (l'Ecuelle, les Arabes, le Villaret, la Combe) semblent ne jamais avoir rencontré de minéralisation dans cette faille.

Ch. Lory (1860) signalait dans sa "Minéralogie du Dauphiné", près de la carrière d'ardoises de la Pernière, un chevauchement des gneiss sur les terrains du Lias. En réalité, il s'agit d'un simple fauchage des couches.

Dans la région d'Allemont la lacune Houiller-Lias est sans doute d'origine tectonique. Le Permien est décrit dans les environs d'Allevard sous forme de grès. Le Trias, lui, est bien connu sous forme de placages

de cargneules et de dolomies rousses à Chamrousse, dans le Massif des Grandes Rousses et celui du Taillefer.

C.- Les formations quaternaires

Les formations quaternaires et actuelles représentent la plus grande partie de la surface du terrain étudié. Au dessus de 2 000 mètres d'altitude, il est très difficile de séparer les éboulis des formations glaciaires. Les éboulis récents dus aux phénomènes atmosphériques viennent souvent cacher les dépôts plus anciens. L'érosion dans ces montagnes accidentées est très forte et, d'un printemps à l'autre, les avalanches et les orages provoquent des modifications importantes de relief.

1) Glaciaire

Des cordons morainiques sont bien reconnaissables en deux endroits :

- Dans la Grande Vaudaine, le fond de la vallée orientée N.W.-S.E. est occupé par un important cordon morainique appartenant à une ancienne moraine frontale avec, sur les bords, des restes de moraines latérales. On suit une de ces moraines pour atteindre le Col de la Grande Vaudaine.
- L'autre formation glaciaire se trouve sur le flanc S.E. de la montagne, le long de la Combe Gilbert, en dessous de la montagne des Chalmettes. Le cordon morainique est très net, profondément entaillé par le ravin.

D'autres formations glaciaires sont beaucoup plus difficiles à délimiter avec certitude aux basses altitudes en raison du recouvrement végétal important.

Les prairies, aux environs d'Allemont, sont à rattacher à ces formations de même que le sommet du Châtelard, au Sud du hameau de la Combe.

La variété des éboulis rencontrés dans le Grand Bois et dans le Bois de Coteyssard peut aussi faire penser à la présence d'un gros placage glaciaire sur le flanc Est de la montagne.

2) Eboulis

Ils proviennent du démantèlement du relief et du remaniement des formations glaciaires.

Bien reconnaissables aux pieds des falaises et au niveau de la vallée de la Romanche, ils forment des cônes nettement dessinés dans la topographie. Vers les sommets il est moins souvent possible, dans les formations ébouleuses, de faire la part de ce qui revient au glaciaire et de ce qui revient aux causes d'érosion actuelles.

3) Alluvions

Elles sont constituées par les alluvions que déposent l'Eau d'Olle en aval de Pont Rattier et la Romanche au Sud. Les cours des torrents qui descendent de la montagne sont trop rapides pour présenter de bonnes conditions d'alluvionnement.

IV.- TECTONIQUE

Des phénomènes tectoniques importants ont déjà été rencontrés au cours des différents itinéraires. Avant de les étudier en détail, il convient d'examiner la région à partir de points permettant par une observation en grand d'en décrire le style tectonique. Toute la partie boisée, qui comprend les terrains situés entre 700 et 1700 mètres d'altitude, ne peut être observée qu'en hiver ou tôt au printemps.

L'observation du flanc Sud de la montagne est possible depuis la route nationale 91, Grenoble-Briançon, qui, au fond de la vallée longe la Romanche. Un croquis panoramique a été dessiné à partir de Cornillon (Nord du Massif du Taillefer) Fig. n° 6 , p. 41 bis.

Les amphibolites de la série verte forment, jusqu'à la Drayre de l'Aiguille, une dalle à plongement Sud qui leur donne une disposition synclinale compliquée par des accidents secondaires (Fig. n° 6, p. 41bis). A l'Est de cet accident, les couches acquièrent une orientation N.E. plus régulière ; la succession stratigraphique est normale, la série verte, dans une disposition anticlinale, affleure à peu près jusqu'aux Chalanches. La rive droite de l'Eau d'Olle est constituée par une succession normale des couches qui, orientées au N.N.E., viennent buter contre l'accident N.S. qui souligne le contact granite des Rissieux-série brune.

La région des sommets est beaucoup plus compliquée. P. Bordet⁽¹⁾ a mis en évidence, au Nord du terrain étudié, des accidents orientés N.E. ou N.S. La face N.W. de la Grande Roche représente un synclinal de série satinée. Son flanc Ouest vient buter contre un anticlinal complexe dont l'axe passe sensiblement par le Grand Charnier et la Grande Lance d'Allemont. Plus à l'Ouest encore, au Lac du Boeuf, se trouve un synclinal de série satinée. Tous ces accidents viennent se terminer dans la zone Clos Chevalier des Chalanches et expliquent sa complexité.

Trois styles tectoniques différents se rencontrent dans le secteur étudié :

a) Tectonique souple

Ses effets sont particulièrement sensibles dans la série verte. Elle est surtout caractérisée par des décollements de couches, bien visibles le long de l'arête sur laquelle sont construits les anciens châteaux de Bâton Moyen et Bâton Haut. La plupart du temps cependant, les accidents tectoniques qui se rapportent à ce style sont masqués par des recristallisations postérieures. Tel est le cas de la zone broyée rencontrée au cours de l'itinéraire n° 2 qui renferme des amas de quartz à disthène et dont les épontes sont enrichies en biotite, disthène, andalousite. Une autre conséquence de cette tectonique est le boudinage de certaines formations ; l'étirement des enclaves d'amphibolites dans des cipolins interstratifiés (photo n° 3, Pl. I) en est un exemple.

b) Tectonique cassante

Les accidents qui s'y rattachent sont bien visibles, tant sur le terrain que sur la photographie aérienne. Elle est caractérisée par des failles, accompagnées parfois par des zones broyées pouvant atteindre la centaine de mètres de puissance. Ces fractures sont rendues encore plus évidentes par une intense altération des minéraux de la roche encaissante ; cette altération s'accompagne d'une libération d'oxydes de fer.

(1) - Note en préparation.

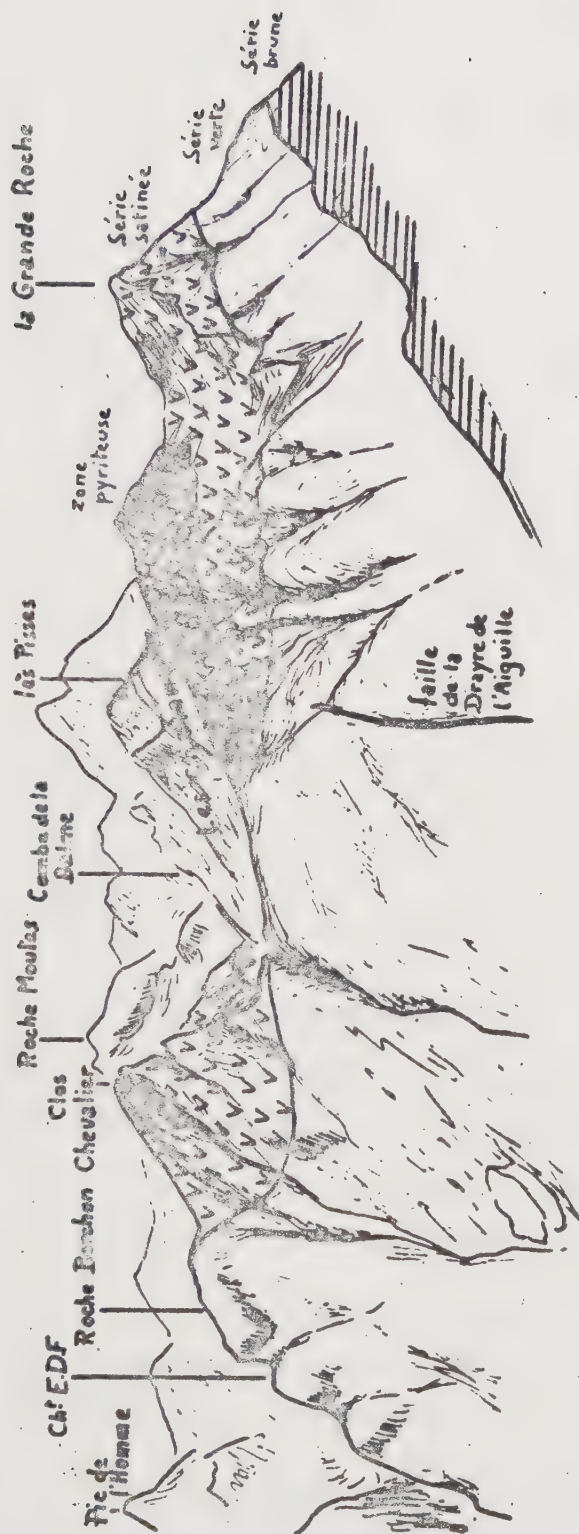


Fig N° 6. - Panorama du versant Sud de Belledonne, dessiné depuis Cornillon.

Les orientations des principales failles sont :

Nord-Sud

- faille du flanc Ouest des Rissioux.
- faille du ruisseau de Mondane.
- faille de la Drayre de l'Aiguille : cet accident a sans doute une certaine importance structurale. Au dessus de Rochetaillée, à la base de Cornillon (terminaison Nord du Taillefer) on remarque trois bancs de cipolins au toit de formations à grenats. Ils sont vraisemblablement l'équivalent des cipolins décrits près de la Traverse. Dans ce cas, la faille délimiterait : - à l'Ouest, un synclinal d'amphibolites dont l'axe Est-Ouest est figuré par la Romanche ; - à l'Est un anticlinal d'amphibolites, d'axe Nord-Est, dont le coeur est occupé par la série brune.
- faille contre laquelle viennent buter les décollements de couche de l'arête de Bâton.

Est-Ouest

l'une affecte les amphibolites du flanc Sud de Belledonne. Des failles Nord-Sud les décalent en marches d'escaliers.

l'autre, venant de la Grande Vaudaine, passe au sommet de Clos Chevalier et se perd dans les éboulis.

Nord-Est à Nord-Nord-Est

- faille de la combe du Jas du Four ; elle se termine dans le cirque occupé par le Lac de Belledonne.
- une autre faille passe par la base de la Grande Lance d'Allemont et traverse la Barre des Écus.

Il ne s'agit ici que des accidents qui, à première vue, paraissent les plus importants. En réalité, le schéma tectonique de la région est beaucoup plus compliqué.

Tectonique souple et tectonique cassante sont étroitement liées. Au paragraphe a) nous avons vu que certains phénomènes tectoniques peuvent être oblitérés par des recristallisations. Dans d'autres cas, les zones

affectées par la tectonique souple ont été reprises ultérieurement par la tectonique cassante. A l'échelle de Belledonne, c'est le cas pour le "synclinal médian". Ici, les accidents de direction N.E. à N.N.E. en sont sans doute un exemple.

La tectonique cassante peut aussi accentuer les manifestations de la tectonique souple. L'examen de terrain montre que les décollements de couches ont été accompagnés d'un rubannement qui a abouti à un boudinage. Les lambeaux ainsi étirés furent ensuite cassés, contournés, et le terre final est une brèche dont les éléments anguleux sont recimentés par des minéraux de remaniement. Ces phénomènes sont bien visibles près du chalet de Eâton et, en général, dans les zones bréchiques cartographiées.

c) Tectonique de couverture

Phénomène classique des massifs hercyniens, elle n'affecte que les terrains du Lias du "synclinal" de l'Eau d'Olle. M. Gignoux (1948-1950) mit en évidence l'importance de la tectonique d'écoulement par gravité dans les Alpes.

C O N C L U S I O N S

Un bref schéma paléogéographique va permettre de rappeler l'histoire des massifs externes ; ainsi les faits observés dans la région d'Allemont pourront être replacés dans un cadre plus vaste.

C'est au cours de la période anté-houillère que les massifs cristallins externes, dont Belledonne fait partie, acquièrent leurs grandes lignes structurales.

Après la sédimentation d'une zone axiale particularisée par un volcanisme préorogénique, basique d'abord (série verte), acide ensuite (série satinée), le métamorphisme général et des phases de plissement conduisent l'ensemble des terrains à un état d'induration ; des granites post-tectoniques se mettent en place ; la migmatitisation des roches voisines est vraisemblablement antérieure à la granitisation.

Une phase tectonique épirogénique ménage des grabens à sédimentation houillère ; ils sont encore affectés par les dernières manifestations effusives de l'orogénèse hercynienne.

Les phénomènes de tectonique cassante commencent à la fin de l'orogénèse hercynienne et deviennent dominants au cours de la phase tectonique alpine marquée essentiellement par des réarrangements d'abord obliques puis verticaux.

Le polymétamorphisme des formations anté-houillères est caractérisé par deux phases de métamorphisme : la moins profonde correspond aux faciès micaschistes supérieurs de J. Jung et M. Roques (1952) ou aux faciès prasinites de P. Eskola (1946). Elle se surimpose à la plus profonde : micaschistes inférieurs, gneiss supérieurs ou encore Amphibolites Epidote - Amphibolites des mêmes auteurs.

Un problème extrêmement important est celui de l'âge du rétro-morphisme, si étroitement associé à la tectonique cassante.

Pour les uns (P. Bordet, 1956 a), il résulte surtout d'un dynamométamorphisme affectant entre houiller et Trias l'ensemble du socle induré.

Pour les autres (Michel, 1953), il s'agit d'un métamorphisme alpin de plus faible degré qui correspond à un nouvel équilibre des formations plus évoluées de l'orogénèse hercynienne.

Aucun argument nouveau ne permet de trancher cette alternative, puisqu'aussi bien les accidents hercyniens rejouèrent à l'alpin et que l'intensité plus grande des phénomènes rétro-morphiques put jouer à l'alpin comme à l'hercynien. Seule la comparaison des intensités relatives du métamorphisme du Trias autochtone sur les massifs cristallins externes et de la rétro-morphose des formations du socle apporterait sans doute un élément de décision. Ce problème sort du cadre de ce travail.

- Troisième partie -

ETUDE DES GISEMENTS METALLIFERES

I N T R O D U C T I O N

L'examen de la carte II, p. 46 bis, montre que dans la Concession des Chalanches existent deux groupes de gisements : l'un, au niveau de la vallée, est constitué par des filons à B.P.G.C. dominant, situé dans la série brune ; l'autre, à environ 1800 m d'altitude, comprend les mines à cobalt, nickel, argent près du contact série verte, série satinée : ce sont les mines des Chalanches.

L'étude de ces gisements posait un certain nombre de problèmes d'ordre général :

1) L'ancienneté de l'exploitation

Il est probable que dès l'époque gallo-romaine une activité minière régnait dans la région, mais les premiers écrits concernant les minéralisations de la région d'Allemont datent de la fin du XVIII^e siècle ; partir à la recherche de ces mines n'était pas chose aisée.

Les altérations supergènes des minéralisations situées dans les travaux souterrains, le mauvais état des galeries, les difficultés que pose leur repérage compliquent singulièrement le travail de l'observateur. Une première conséquence de cet état de choses est le manque de représentativité de tous les échantillons décrits ou analysés.

2) L'absence de travaux synthétiques

Aucun travail d'ensemble n'ayant jamais été tenté il fallait réunir en un tout cohérent un grand nombre d'observations et de points de vue fragmentaires disséminés dans des publications parfois très anciennes, régionales, nationales, voire internationales ou encore inédites comme c'est le cas pour les archives du Service des Mines de Grenoble.

Ce travail permet de faire le point des connaissances accumulées jusqu'à nos jours et de dégager un certain nombre de données critiques

[illegible]

sur les anciennes méthodes de prospection et d'exploitation.

Pour faciliter la lecture de cet ouvrage, après un bref rappel de l'histoire minière de la région d'Allement, la description de chaque quartier de la Concession sera précédée d'un paragraphe sur les travaux dont il a fait l'objet. La description de ce qui est encore visible actuellement précédera l'étude des gangues et des minéralisations et, lorsque cela sera possible, les minéraux déterminés antérieurement seront rappelés. En dernier lieu, les analyses anciennes, en général non repérées par l'échantillonneur, et les analyses récentes effectuées à ma demande, seront groupées en un même tableau qui facilitera leur étude critique et leur comparaison.

On arrivera ainsi logiquement à des conclusions partielles valables pour chaque quartier étudié ; tous les problèmes ne seront pas résolus par cette étude. Son intérêt sera de faciliter d'éventuels travaux ultérieurs et de mettre en évidence les problèmes posés par ces gisements.

L'étude de chacun des deux types de gisements sera suivie de conclusions permettant de les comparer à des gîtes mieux connus ; après quoi viendra une discussion des hypothèses génétiques à retenir pour expliquer la mise en place des minéralisations.

Historique général de la concession des Chalanches

Un rapport général daté de 1898, rédigé par l'Ingénieur des Mines P. Evrard, expert du concessionnaire, donne un bon historique de l'activité antérieure des mines d'Allement ; un bref résumé permettra de mieux saisir les vicissitudes de ces exploitations.

La tradition veut que les mines des Chalanches aient été découvertes en 1765 par une bergère qui y ramassa un bloc "d'argent natif". Les paysans de la région exploitèrent pour leur propre compte le minerai à l'affleurement. A la suite d'un éboulement où sept mineurs trouvèrent la mort, le gouvernement de Louis XVI intervint et donna les mines en apannage à Monsieur, frère du roi, le futur Louis XVIII. Il chargea

l'Ingénieur du Corps Royal des Mines de Saxe, J.G. Schreiber de diriger l'exploitation des Chalanches. Sous sa direction, les mines connurent une grande prospérité et devinrent célèbres par la beauté et la variété des échantillons minéralogiques qui enrichirent les cabinets des naturalistes.

Sous la Révolution, le déclin des mines commença, accentué par la grave crise économique et monétaire. Au début du XIXe siècle les mines étaient pratiquement fermées et toute activité avait cessé en 1808.

En trente deux ans, près de dix tonnes d'argent furent extraites, soit une production moyenne de près de 300 kg par an. Le nickel et le cobalt, sans intérêt pour la métallurgie d'alors, étaient jetés et les mattes de fusion servaient à l'empierrement des chemins.

A partir de 1830 et jusqu'à la fin du XIXe siècle de nombreuses tentatives de remise en exploitations furent faites. Il s'agissait soit de reprendre l'exploitation du minerai, soit de récupérer le cobalt et le nickel dans les mattes. Aucune de ces tentatives n'eut de résultats et toutes se soldèrent par des faillites. Au cours de la guerre 1939-1945 une dernière tentative fut faite aux Chalanches. Ce fut, semble-t-il, un échec.

LES GISEMENTS A B. P. G. C.

I.- PRINCIPAUX QUARTIERS OU EURENT LIEU LES RECHERCHES

A.- Le Mollard

Cinq filons sont signalés à proximité de ce hameau situé au dessus de la R.N. 526 qui relie Rochetaillée au Col de la Croix de Fer. Les filons n° 1, 2, 4 et 5 ont été reconnus par des galeries en direction ; le n° 3 n'a fait l'objet que d'un grattage en surface. Il a été impossible de le repérer.

Dans le n° 1, une poche de minerai de 25 mètres de long, 6 à 12 m de hauteur et 1 à 2 m de puissance fut abattue à l'époque de J. Schreiber. Il avait entrepris là la recherche d'alquifoux qu'il ne pouvait plus faire venir de Savoie, les assignats n'ayant pas cours à l'étranger. Les autres filons ne furent travaillés que lors de la dernière tentative de reprise des travaux.

FILON n° 1

- Accès : au carrefour de la N. 526, avec le chemin de terre qui monte au hameau du Mollard, se trouve une scierie en ruines. Un chemin, qui n'est autre que l'ancienne route d'Allemont en Savoie, traverse un pré très pentu au pied duquel, dans la falaise qui domine l'Eau d'Olle, un sentier qui était emprunté par les mineurs permet d'accéder aux anciens travaux.

- Description des travaux : deux galeries subsistent à peu près au niveau de l'Eau d'Olle ; elles correspondent aux filons n° 1 et 2 et elles sont distantes d'environ 5 mètres (Fig. n° 7, p.49 bis). La roche encaissante est un gneiss séricitisé et silicifié, lardé de cassures sans direction dominante, peu ouvertes en général, renfermant des oxydes de fer. Localement, des amas plus importants d'un quartz rougeâtre sont minéralisés en chalcopryrite, galène et pyrite.

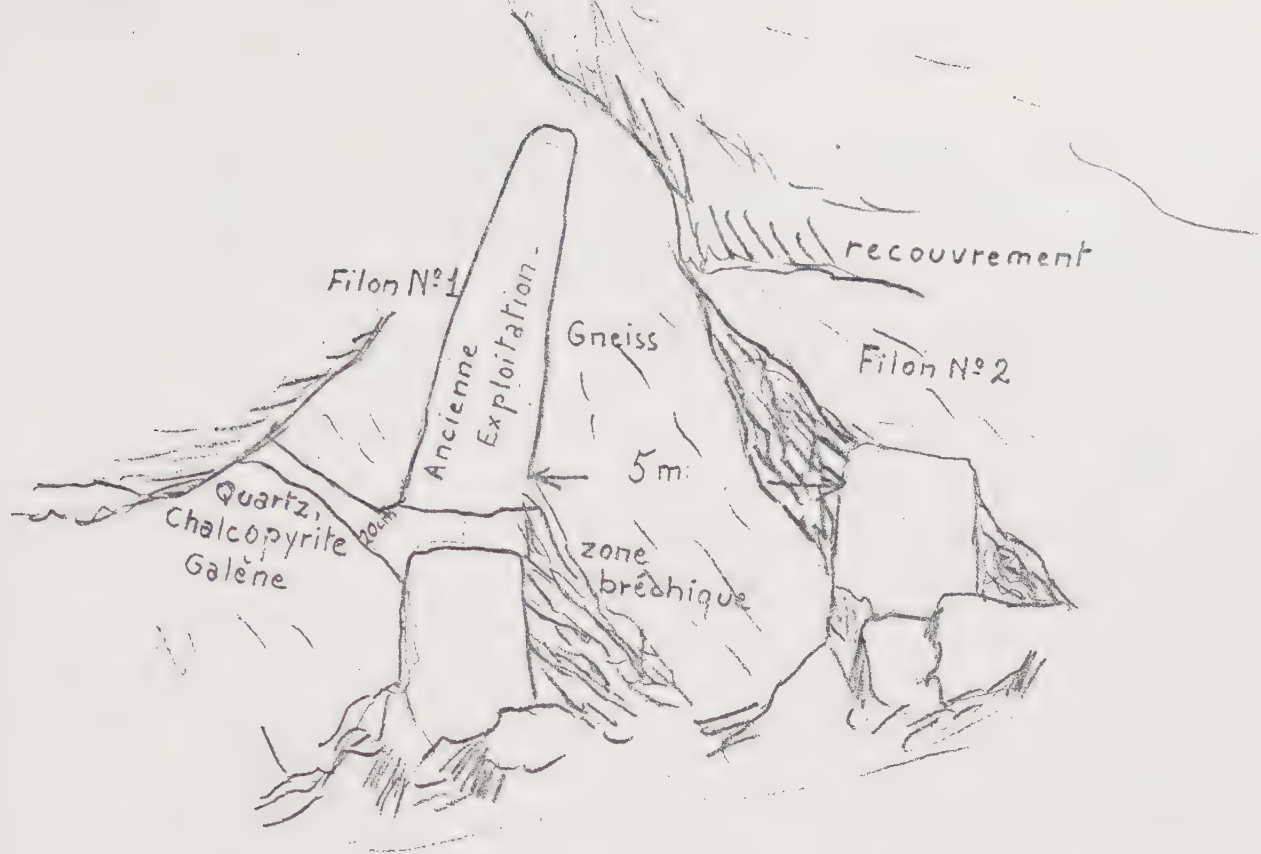


Fig. N° 7.- Structure des filons N° I et 2 du Mollard.

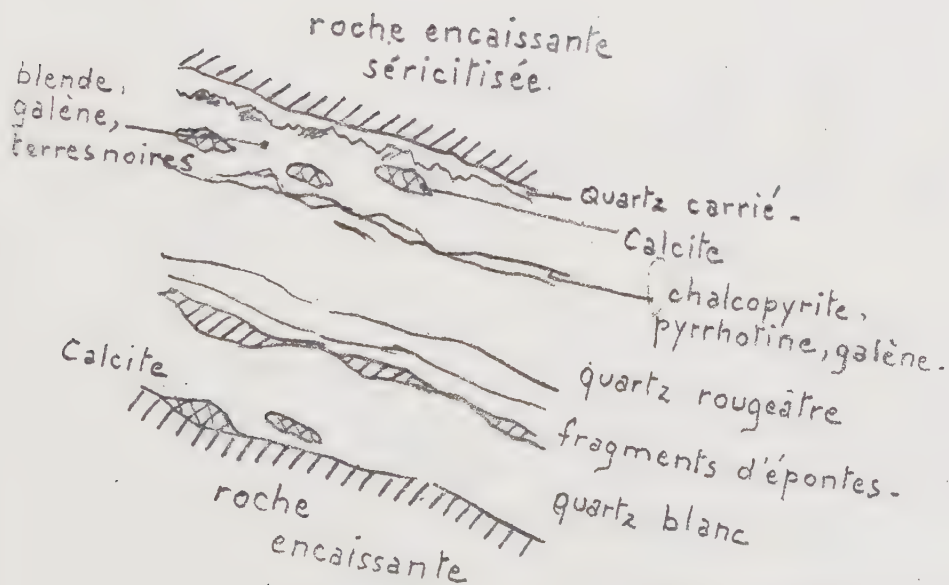


Fig. N° 8. Schéma du filon N° I du Mollard.

L'ancienne exploitation se présente comme une grande chambre aux murs parallèles, avec un étauillon laissé pour raison de sécurité. Après une dizaine de mètres, la galerie reprend une taille normale ; la poche riche était terminée. Elle ne représentait d'ailleurs qu'un diverticule du filon principal. La direction de ce dernier est de 140° avec un pendage de 60° N.E. ; ce pendage s'amortit en direction pour se situer aux alentours de 40° N.E. au front de taille. Une recoupe à partir du n° 1, de 4 à 5 mètres, a été faite pour rechercher le n° 2. Elle semble s'être arrêtée à proximité de ce dernier car au front de taille affleure du quartz. Les parois de la galerie sont recouvertes d'un enduit argileux et il n'est pas possible de savoir si la galerie a recoupé des filonnets ou amas de quartz minéralisé. Ce qui est certain, c'est que le quartz qui représente la zone axiale du filon a été exploité. Les épontes, constituées par une brèche parfois fortement minéralisée en galène (photo n°1, Pl. II), ont été le plus souvent abandonnées sans doute à cause des problèmes de séparation insolubles à l'époque.

- Structure du filon (Fig. n° 8 , p.49 bis).

- Le toit

Il est marqué par un rubannement des épontes avec silicification de la roche incluse ; ce rubannement peut s'accentuer jusqu'à donner une brèche à oxydes ou à carbonates, calcite, diallogite, sidérose plus ou moins oxydées. La minéralisation est constituée par des nids de quartz à pyrrhotine, galène, pyrite, chalcoppyrite, mais rarement à blende (cette dernière a sans doute été détruite).

Localement, une salbande argileuse résultant d'altération superficielle et de remplissage par le haut, parallèlement à une destruction des carbonates et sulfures, isole le filon de la roche encaissante. La zone axiale contient surtout du quartz, minéralisé principalement en chalcoppyrite et galène recherchée par Schreiber.

- Le mur

Il est constitué par une zone bréchique, bien minéralisée, à galène dominante et chalcoppyrite. La galène est fortement cataclasée,

parfois cristallisée avec des chlorites. Galène et chlorites remplissent les interstices de la brèche et ont été repris par la suite par un rejeu du filon au cours de mouvements tectoniques postérieurs (photo n° 1, Pl.II).

- Gangues

La constitution des gangues est variable suivant qu'il s'agit de la partie axiale du filon ou de la zone minéralisée d'éponte.

La partie axiale est formée par un quartz d'apparence massive renfermant des zones rouges déterminées par des oxydes de fer qui datent vraisemblablement de la cristallisation du quartz. Les zones colorées soulignent les limites des grains, montrant ainsi que le filon axial, lui aussi, est fortement tectonisé. Dans ce quartz d'aspect bréchique, rarement géodique, se sont mis en place de la blende, de la galène et surtout de la chalcopryrite. Ces minéralisations sont très semblables à celles qui seront décrites au filon n° 4. Il n'a pas été possible de recueillir un bon échantillon des minéralisations de cette zone, qui fit l'objet d'une exploitation intensive.

La caractéristique principale des zones minéralisées d'éponte est le rôle important qu'y ont joué les phénomènes tectoniques, aboutissant à un rubannement allant parfois jusqu'à la cataclase, suivant le phénomène décrit p. 44, au chapitre tectonique. Les minéraux micacés sont transformés en amas de séricite isolés dans une gangue où dominent les carbonates.

Ces carbonates sont :

- des nids de calcite, bien cristallisée.
- de la sidérose en voie de limonitisation, des carbonates de la famille des rhodocrosites en voie d'altération en oxydes de manganèse noirs.

Ces deux dernières espèces s'altèrent en produits pulvérulents noirs et rouges. Sur un même échantillon, il est d'ailleurs possible d'observer ces phénomènes à différents stades de leur développement et l'on voit certains cristaux, bien que complètement oxydés, garder leurs formes

rhomboédriques. L'analyse chimique qualitative décèle la présence de Ca, Fe^{++} , Mn, Mg et ces carbonates représentent sans doute les isomorphies possibles entre ces éléments. Le terme extrême de leur altération donne ces terres rouges et noires, d'aspect plus ou moins argileux, observables dans tous les filons ; ils déterminent parfois les salbandes argileuses qui isolent la caisse filonienne.

Le quartz qui se présente à l'occasion dans ces zones bréchiques est en général beaucoup moins coloré que celui de la partie axiale. Il est aussi plus compact et renferme de grandes plages de pyrrhotine cristallisée avec la galène (photo n° 2, Pl. IV).

Dans les épontes existe un autre minéral de gangue : les "chlorites alpines" avec lesquelles chalcopryrite et galène ont pu cristalliser. Toute cette formation complexe est fortement affectée par la tectonique, et les mouvements tangentiels ont dû se poursuivre pendant une longue période. En effet, les fragments minéralisés des épontes se clivent au burin en lames de quelques centimètres d'épaisseur et d'une longueur de l'ordre du mètre, suivant des directions parallèles à celles du filon principal.

- Minéralisations

P. Evrard (1898) signalait dans ce filon : bournonite, phillipsite, cuivres gris et chalcopryrite en plaques ou en boules. Les teneurs en or et argent étaient fortes.

L'étude au microscope métallographique a permis de déterminer :

1) De la blende

Très brune à l'oeil nu elle subsiste en lambeaux dans un réseau maillé ou colloforme constitué par des limonites ou encore dans des carbonates. A bords lobés, cataclasée, elle renferme de la chalcopryrite en inclusion. Elle a été détruite souvent par les eaux superficielles, sauf quand les minéraux de gangue ou les produits d'altération qui l'enrobaient l'ont protégée.

2) De la galène

Elle se trouve aussi bien dans les épontes que dans la zone axiale. En plages à très bon poli, elle est en cristaux de petite taille. Ses bords sont impressionnés par la gangue, les carbonates en particulier qui dessinent des contours rhomboédriques.

La galène renferme de nombreuses inclusions : chalcopryrite, blende et pyrrhotine. La chalcopryrite incluse contient :

- de la pyrrhotine en gouttelettes lobées,
- des lamelles de dissociation qui indiquent des conditions de genèse de haute température ou de grande profondeur. Ce minéral présente tous les caractères optiques de la cubanite (Fig. n° 9, p. 54 bis), (voir N.B. fin de page).
- du "minéral de nickel inconnu" (unbekanntes Nickelerz de Ramdohr, 1950) en exsolution d'aspect graphique (photo n° 1, Pl. IV),
- des inclusions de blende en étoiles ou en bâtonnets.

Un fait à signaler est la rareté des minéraux d'argent ; seule une plage d'argyrose a été observée.

3) De la pyrite

Peu fréquente dans le filon n° 1, elle est en grains subauto-morphes à mauvais poli, avec altération en goethites sur le pourtour et le long des diaclases.

4) De la chalcopryrite

Minéral d'inclusion assez courant, elle se trouve aussi en grandes plages cataclasées à bords lobés. Son anisotropie est normale, ainsi que ses macles. Elle s'altère sur les bords et le long de certaines cassures en goethites qui se déposent en amas colloformes ou fibroradiés. On y trouve des inclusions de galène et de blende surtout, soit en étoiles, soit en bâtonnets (Fig. n° 10, p. 54 bis).

Il n'a pas été possible d'y observer des inclusions de cubanite? ou de pyrrhotine qui semblent liées à la chalcopryrite en inclusion dans la galène.

N.B. : Une détermination à la sonde de castaing est en cours au B.R.G.M.

5) De la pyrrhotine

Elle se trouve en grandes plages, indépendamment des inclusions déjà rencontrées. Cristallisée avec la galène, dans une lame quartzeuse d'éponte, elle se présente également en association avec la chalcopryrite. Au microscope, les cristaux arrondis qui la composent sont visibles en lumière naturelle grâce à leur pléochroïsme. Des cassures la parcourent dont certaines sont soulignées par le développement d'un minéral plus clair, à fort pléochroïsme et forte anisotropie. Le pléochroïsme, bien visible dans l'huile, varie du blanc au verdâtre. Ce minéral se trouve soit en forme de buisson le long des cassures ou de plumes dans les individus cristallins. Dans ce cas, il ne franchit que rarement la limite entre deux grains. Il s'agit, semble-t-il, d'un début d'altération de la pyrrhotine en marcassite, phénomène d'ailleurs signalé par Ramdohr (1950 p. 140 et suivantes) qui admet là un minéral intermédiaire entre la pyrrhotine et la marcassite.

A l'intérieur de filonets répartis dans la masse de la gangue se trouvent de petites plages de pyrrhotine, très souvent en lamelles, ces lamelles étant soulignées par une limonitisation. La chalcopryrite est, dans ce cas, toujours voisine (Fig. n° 11, P. 54 bis).

6) De l'or

Plusieurs grains d'or disséminés dans la gangue ont pu être remarqués. Or natif très jaune, en grains arrondis. Il n'a pas été fait d'essai d'amalgamation sous le microscope, ce test s'étant montré concluant sur des sections polies provenant du filon n° 5 du Mollard. Le lavage de trois pans de 440 prélevés au plancher de la galerie a été négatif prouvant ainsi que la rencontre de l'or gros est peu probable. Cette indication de terrain fut d'ailleurs confirmée par un essai d'amalgamation effectué sur un échantillon de tout venant de plusieurs kilogrammes.

- Amalgamation

Le procédé a été couramment employé lors des prospections aurifères semi-systématiques et systématiques en filon à or libre.

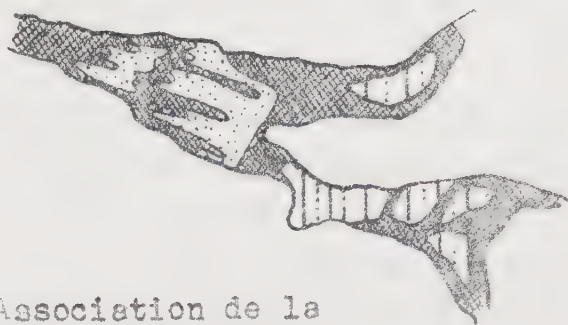
Fig. N° 9.- Le Mollard N°I.

inclusion de chalcoppyrite
dans la galène



la chalcoppyrite associée
à la pyrrhotine renferme
des lamelles de dissocia-
tion de cubanite.

Fig N° II.- Mollard N°4.

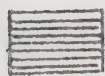


Association de la
chalcoppyrite et de
la pyrrhotine, en
reliques dans des
goethites d'altération.



Fig N° IC.-

Mollard N°2. Association blende,
galène, chalcoppyrite.



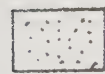
Blende



Chalcoppyrite



Gaethite



Pyrrhotine



Cubanite?



Pyrite



Galène



Covelline

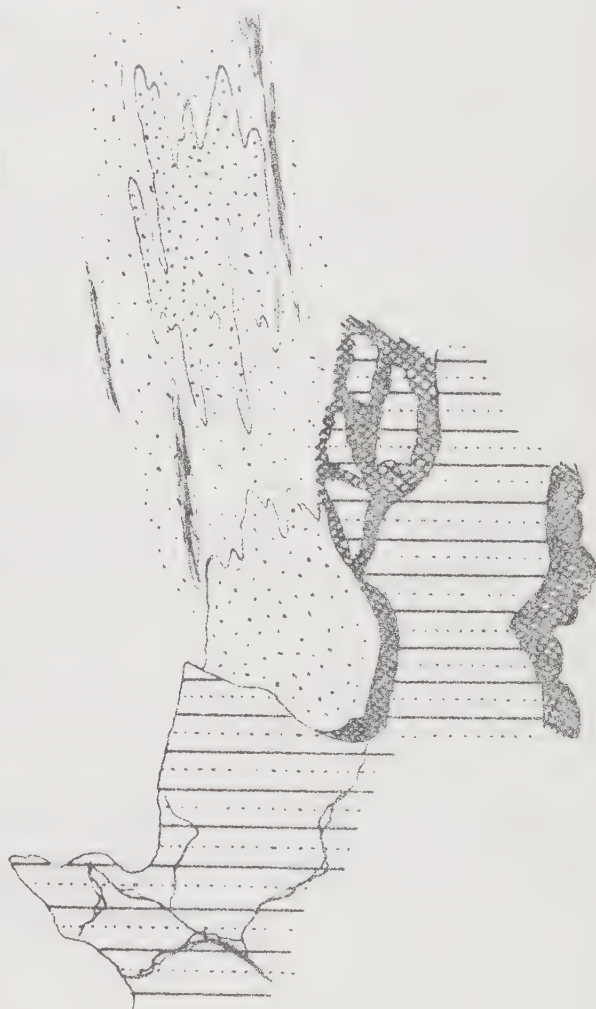


Fig N° 12. - Le Mollard N° 4.

Lamellation de la pyrrhotine associée à la chalcoppyrite.

Méthode d'analyse : Le broyage de l'échantillon est conduit jusqu'à 60 Mesch. 10 kg sont prélevés.

Dans un broyeur à boulets, l'échantillon est versé avec 80 % d'eau, 150 g de mercure, quelques pastilles de potasse, un seul boulet est ajouté qui jouera le rôle d'agitateur. La durée de rotation est de 1 h. 30. La pulpe est recueillie dans un pan de 440 et l'amalgame récupéré par lavage. Une attaque nitrique met le mercure en solution et l'or récupéré est libéré. Le mercure est déplacé de sa solution par de la tournure de cuivre et distillé pour purification. Dans l'échantillon ainsi traité, des paillettes d'or libre étaient visibles sous la binoculaire ; il était cependant en trop faible quantité pour être pesé.

Le rendement de l'opération ne pouvait pas être excellent et cela pour plusieurs raisons :

a) Les paillettes d'or sont très fines et les dimensions des gouttes de mercure et des paillettes sans commune mesure ; d'où un mauvais contact entre les deux métaux.

b) Des limonites sont libérées par le broyage ; enrobant les particules d'or, elles les rendent impropres à l'amalgamation. Le même phénomène est possible avec le quartz.

c) La gangue est très complexe. Certains de ses constituants peuvent être surbroyés alors que les autres demeurent assez grossiers. Ce phénomène aggrave encore b).

d) Si l'on veut éviter le surbroyage, il est très difficile d'atteindre un coefficient convenable de libération du métal.

Les résultats essentiels de cette expérience conduite sur des échantillons de zones filoniennes principales ont démontré l'existence de l'or natif et permis de vérifier l'absence d'or gros.

- Analyses chimiques

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Ag	-	220 g/T	344 g/T	52 g/T	60 g/T
Au	-	11 g/T	13 g/T	< 0,5 g/T	< 0,5 g/T
Pt	-	-	-	< 0,5 g/T	< 0,5 g/T
Pb	26 %	-	-	-	-
Zn	18 %	-	-	-	-
Cu	6 %	-	-	-	-

Tableau n° 1. - Analyses chimiques effectuées sur des minerais du filon n° 1 du Mollard.

- (1) Analyse ancienne citée par Evrard 1897.
- (2) " " " " " 1896.
- (3) Echantillon prélevé par P. Evrard.
- (4) Analyse B.R.G.M. Paris, 1961.
- (5) Analyse B.R.G.M. Maison Carrée, 1961 (contrôle).

- Relation mutuelle des minéraux

Il semble bien que la blende, la galène, la chalcopryrite et la pyrrhotine soient contemporaines.

La pyrite, elle, semblerait antérieure à cette paragenèse.

L'or, à l'état natif, proviendrait plutôt de minéraux qui le renfermaient antérieurement. Une étude systématique des traces serait intéressante pour savoir si l'or existe dans le réseau des sulfures actuellement observables, les chalcopryrites en particulier.

L'argent n'apparaît que rarement dans les minerais étudiés. Il peut être envisagé en solution solide dans la galène, l'argyrose paraissant exceptionnelle. Les cuivres gris signalés au début du siècle n'ont pas été observés. En l'absence de dosage du plomb, il n'est pas possible de comparer entre elles les différentes teneurs en argent.

2. The second section focuses on the role of technology in modern record-keeping. It highlights how digital tools and software can streamline the process, reducing the risk of human error and improving efficiency. The author notes that while technology offers many benefits, it is crucial to ensure that digital records are secure and protected from unauthorized access or data loss.

3. The third part of the document addresses the legal and regulatory requirements surrounding record-keeping. It outlines the various laws and standards that organizations must adhere to, depending on their industry and jurisdiction. The text stresses the importance of staying informed about changes in regulations to avoid potential legal consequences.

4. The fourth section discusses the challenges associated with long-term record storage and management. It points out that as the volume of data grows, organizations must find effective ways to organize, categorize, and archive their records. The author suggests that a combination of physical and digital storage solutions may be the most practical approach for many organizations.

5. The final part of the document provides a summary of the key points discussed and offers some concluding thoughts. It reiterates that record-keeping is not just a bureaucratic task but a fundamental aspect of good governance and operational excellence. The author encourages organizations to embrace a proactive approach to record management, ensuring that their systems are resilient and adaptable to future needs.

- Considérations d'ordre génétique

La pyrrhotine est classiquement considérée comme un minéral de haute température, dans les gisements filoniens du moins. Cependant, la réduction de la pyrite sous certaines conditions physico-chimiques amenant le départ de soufre peut être une cause de la formation de pyrrhotine. Aucune relique de pyrite n'a été observée dans les plages de pyrrhotine.

Même en émettant des doutes sur la signification de la pyrrhotine en tant que géothermomètre, il faut noter qu'elle se trouve aussi en inclusion dans la chalcopryrite où, dans certains cas, elle est accompagnée de cubanite ? minéral sur lequel l'unanimité semble être faite.

D'après H.Schneiderhöhn et P.Ramdohr (1933), les inclusions de blende dans la chalcopryrite, sous forme d'étoiles ou de bâtonnets, sont une indication de génèse à haute ou moyenne température.

La principale minéralisation d'éponte renfermant blende, galène, chalcopryrite et pyrrhotine est du type mésothermal. Une partie de l'argent y est peut être associée soit sous forme primaire, soit sous forme de minéral mobilisé. L'or semblerait être indépendant de la phase métallogénique principale.

Il est intéressant de constater qu'à la fin du XVIIIe siècle, (de Bournon, dans une correspondance avec J.Schreiber (1784), envisageait que l'argent pouvait provenir de la décomposition de minerais sulfurés antérieurs, les cuivres gris par exemple.

FILON N° 2

Parallèle au filon n° 1, distant de 5 mètres de ce dernier, il présente les mêmes caractères de structure, de gangue et de minéralisation. Vraisemblablement, les deux filons font partie d'un même ensemble, séparés par une zone cataclasée.

1) Blende et galène

Ces deux minéraux ont deux habitus distincts :

- disséminés dans la gangue et dans les produits d'altération, ils sont alors des minéraux reliques, assez peu intéressants.

- en inclusions dans la chalcopryrite. La galène est en plages arrondies, la blende en bâtonnets ou en étoiles, sans relation visible avec les macles de la chalcopryrite.

2) Pyrite

Elle a le même aspect que dans le n° 1.

3) Chalcopryrite

Elle se rencontre en plages déchiquetées dont les ramifications s'insèrent dans les vides de la gangue. Il ne s'agit pas d'une minéralisation de caractère géodique, mais d'un remplissage dans une gangue peu compacte. Les chalcopryrites ne renferment pas toutes des inclusions de blende ; c'est peut-être là une indication utile pour savoir s'il y a deux générations de chalcopryrites : il suffirait d'avoir un échantillonnage bien répété à étudier systématiquement.

4) Pyrrhotine

Elle se trouve sur le pourtour de la chalcopryrite, en grains arrondis ou en grandes plages. Dans ce cas, il se produit un phénomène remarquable (Fig. n° 12, p. 54bis) : des cristaux allongés de pyrrhotine subsistent, plus ou moins lobés, entourés par un minéral rose, plus clair que la pyrrhotine, à pléochroïsme plus faible, visible sur le pourtour des grains. Il faut beaucoup d'attention pour remarquer ce minéral d'aspect lamellaire. Son anisotropie est à peu de choses près semblable à celle de la pyrrhotine. Il s'agit là du phénomène de dissociation en lames de la pyrrhotine signalé par Ramdohr et Schneiderhöhn et resté sans explication.

L'altération en goethite est plus poussée le long des lamelles. Doit-on voir là, justement, une conséquence de la lamellation ?

5) Or et argent

Il n'a pas été possible d'observer de l'or natif ou des minéraux d'argent.

- Analyses chimiques

	(1)	(2)
Ag	258 g/T	12 g/T
Au	14 g/T	< 0,5 g/T

Tableau n° 2.- Analyses chimiques effectuées sur les minerais du filon n° 2 du Mollard.

(1) Analyse Mercier citée par Evrard 1898.

(2) Analyse B.R.G.M. Paris 1961.

FILON n° 4

L'ancienne route de Savoie permet d'y accéder ; après un petit bois d'épicéas, il suffit de descendre au bord de l'Eau d'Olle, à 115 m au Nord des filons n° 1 et 2.

La galerie a été ouverte en direction dans un filon à épontes de micaschistes. Le filon est constitué par du quartz rubanné. Les épontes isolent bien la caisse filonienne à quartz rougeâtre et chalcopryrite dominante. Il ne semble pas y avoir de zone bréchique aux épontes. Dans le quartz se trouvent quelques nids de calcite. La minéralisation observée est essentiellement composée de chalcopryrite, avec un peu de blende à proximité des épontes. Evrard signalait aussi de la galène. Parfois le filon est géodique et les dépôts rythmiques à l'entrée de la galerie prouvent que son remplissage s'est effectué en plusieurs temps.

La description des travaux souterrains est empruntée à Evrard (1898). Elle est semblable aux observations actuelles.

"Le filon n° 4 n'a été suivi que sur une longueur de 20 mètres. A 5 m de l'entrée, on a rencontré une belle éponte plongeant au N.E. de 80°. A 10 m, le filon découvrait un remplissage de 0,40 m, peu minéralisé. A 15 m, la minéralisation laissait

the ... of ...

the ... of ...

the ... of ...

the ... of ...

the ... of ...

the ... of ...

the ... of ...

the ... of ...

the ... of ...

the ... of ...

encore à désirer. Mais la puissance du filon atteignait 0,80 m et les épontes étaient toutes deux bien caractérisées. Enfin, au front de taille, la bande a un peu plus de 0,45 m d'épaisseur à la partie supérieure et est un peu plus minéralisée. Le minerai est de nature complexe, mais la chalcoppyrite domine. On se trouve en présence d'une amélioration continue en direction".

- La minéralisation

1) Chalcoppyrite

Elle est subordonnée à des cassures de la gangue qu'elle ne remplit d'ailleurs pas totalement. Bordée par des plages de galène en voie d'altération, elle ne contient que rarement des inclusions de blende.

2) Pyrrhotine

Elle se trouve en individus isolés dans la gangue ou en inclusions dans la chalcoppyrite. (Fig. 13 et 14, p. 60 bis).

3) Pyrite

Elle a les mêmes caractères que dans les filons précédents, elle est seulement plus abondante ici.

Les phénomènes de cataclase et d'altération sont les mêmes que précédemment.

Le filon n° 4 est assez peu minéralisé ; il doit représenter la phase ultime du remplissage filonien. Le seul intérêt est son croisement avec le n° 5 susceptible d'être une zone d'enrichissement.

FILON n° 5

Accès : à environ vingt mètres du mur de soutènement du remblai de la route du Col de la Croix de Fer, avant le pont du ruisseau du Mollard, existe dans les broussailles un ancien sentier presque effacé qui conduit à la plate-forme de la galerie n° 5.

Historique : ce filon n'aurait été travaillé que lors de la reprise des mines du Mollard (fin du XIXe siècle). Reconnu sur 20 m il ne fut pas exploré plus avant. Evrard (1898) le considérait, après traçage, comme le moins intéressant du système ; il n'envisageait cette galerie que comme retour d'air et moyen d'exploration des n° 1, 2, 3 et 4, croiseurs du n° 5.

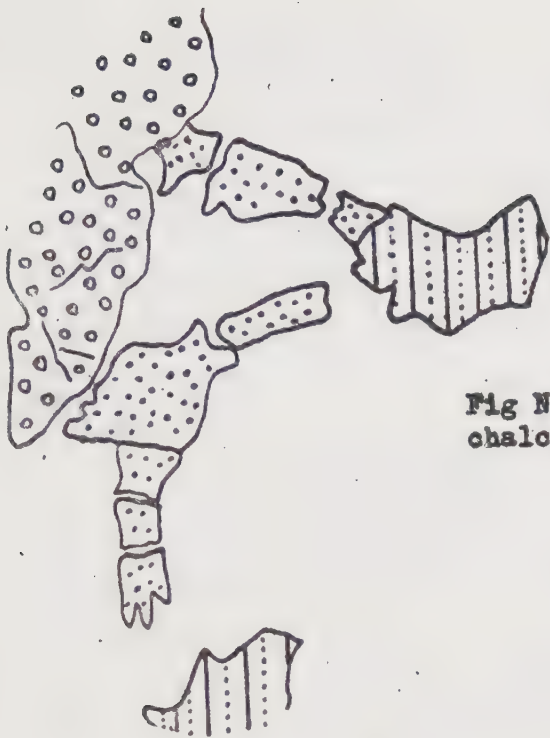


Fig N° 13. - Mollard N° 4. Association de pyrite, chalcopyrite, pyrrhotine.

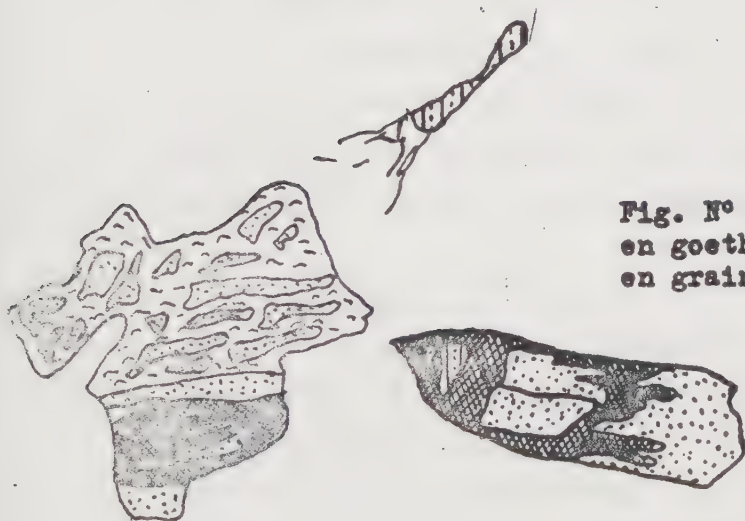
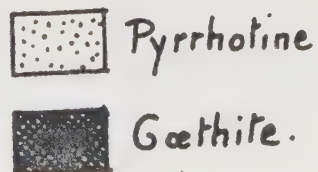
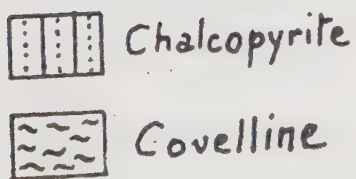


Fig. N° 14. - Mollard N° 4. Pyrrhotine altérée en goethite pouvant renfermer de la covelline en grains.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

RECEIVED

APR 10 1964

TO THE PHYSICS DEPARTMENT
FROM THE PHYSICS DEPARTMENT
RE: [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

- Structure du filon

A environ 20 m en-dessous de la galerie affleure un filon de quartz d'une dizaine de centimètres de puissance, à remplissage d'oxydes rouges et reliques de cristaux de blende et galène. Les éponges sont bréchiques, séricitisées et imprégnées de calcite. La puissance de la zone minéralisée, au début des travaux en galerie, ne dépassait pas 0,60 m de puissance et était constituée par du quartz à remplissage de blende et chalcopryrite.

Sur la plate-forme, de nombreux échantillons d'une brèche à ciment calcaire renferment des mouches ou filonnets de blende, galène et chalcopryrite ; les blocs de blende brune de l'ordre du kilog ne sont pas rares.

Le filon est concordant avec les roches séricitisées encaissantes. Sa direction est 26°, son pendage 80° N.W.

P. Evrard semble n'avoir observé que la minéralisation trouvée dans le quartz ; nulle part il ne parle des brèches minéralisées. Le problème de la puissance de cette zone est donc posé ; au front de taille, le minerai semble occuper toute la largeur du souterrain.

- Gangues

Les éléments dominants sont des fragments de micaschistes encaissants, silicifiés et recimentés par de la calcite. Des fissures tardives à remplissage de sidérose recoupent la brèche métallifère ; plus tardive encore, la pyrite en veinules traverse minerai et schistes encaissants. Enfin, certains blocs bréchiques, plus rares, sont cimentés par du quartz. Dans ce cas, la chalcopryrite domine.

- Minéralisation

La paragenèse métallifère comprend donc essentiellement :

1) De la blende (photo n° 3, Pl. IV).

Elle constitue le minerai dominant. Très brune, elle est cataclasée. Souvent enveloppée par un liseré de galène, ses cassures ne

traversent pas cette enveloppe. La blende renferme en inclusions :

- de la chalcopryrite en grains ovoïdes ou arrondis, parfois en bâtonnets.
- de la pyrrhotine en grains. Elle est beaucoup plus rare.
- des reliques de pyrite.

2) De la galène

En mouches à bords lobés, elle souligne généralement les contours de la blende et s'y trouve en fines inclusions. Aucune inclusion de minéraux argentifères n'y a été décelée.

3) De la pyrite

Incluse le plus souvent dans la blende, elle se rencontre également en gros cristaux isolés dans la gangue de calcite.

4) De la chalcopryrite

Elle se trouve essentiellement en petites mouches dans la gangue quartzeuse.

5) De l'or

C'est dans ce filon que l'or fut observé pour la première fois. Après vérification des caractères optiques, les amalgamations effectuées sous le microscope sur des sections fraîchement polies et bien nettoyées au xylol confirmèrent cette première diagnose. Par contre des pannages effectués dans les décharges ont été négatifs. E. Gueymard (1844) signalait de l'or dans les blendes du Mollard. Une contamination de ses échantillons est probable. Le platine qu'il signalait aussi n'a, par contre, pas été retrouvé ou, s'il existe, est en dessous de la limite de sensibilité de 0,5 g/T.

- Analyses chimiques

	(1)	(2)	(3)	(4)
Ag	27 g/T	99,2 g/T	22 g/T	25 g/T
Au	tr	1,2 g/T	< 0,5 g/T	< 0,5 g/T
Pt	-	-	< 0,5 g/T	< 0,5 g/T
Pb	-	20,5 %	-	0,45 %
Zn	47 %	-	-	5,7 %
Cu	-	-	-	< 0,05 %

Tableau n°3. - Analyses effectuées sur des minerais du filon n° 5 du Mollard.

- (1) Analyse citée par P. Evrard, 1897.
- (2) Analyse Westfield, 1961 . Echantillon choisi.
- (3) Analyse B.R.G.M. : échantillon de 120 kg env. broyé et quarté à Nancy par Clavel. Paris 1961.
- (4) Même échantillon : analyse de contrôle B.R.G.M. Maison Carrée, 1961.

Si les teneurs en argent sont ramenées à la tonne de plomb d'oeuvre,
 l'analyse n° 2 donne 500 g Ag/T Pb d'oeuvre,
 l'analyse n° 4, 5 kg Ag/Pb d'oeuvre.

C'est l'échantillon analysé en 3 et 4 qui est relativement le plus représentatif. Considérant la faible teneur en argent à la tonne de plomb d'oeuvre dans (2) il est facile d'envisager l'absence de minéraux d'argent visibles, même au microscope. Il n'en va pas de même pour (4) où normalement les minéraux d'argent doivent être visibles. Deux explications peuvent être envisagées : 1) le matériel examiné ne renferme pas de minéraux d'argent ; 2) l'argent se trouve, associé au bismuth, sous forme de schapbachite en solution solide dans la galène. Quelques analyses spectrales qualitatives pour traces, effectuées sur des minéraux provenant d'autres quartiers, ont permis d'observer les raies du bismuth dans les galènes (voir p. 89).

5. The fifth part of the document discusses the role of the management in ensuring the integrity of the financial system. It explains how management is responsible for establishing and maintaining a strong internal control system and for ensuring that all transactions are properly recorded.

7. The seventh part of the document discusses the role of the regulatory bodies in overseeing the financial system. It explains how these bodies are responsible for ensuring that all financial institutions comply with the relevant laws and regulations.

9. The ninth part of the document discusses the role of the public in ensuring the integrity of the financial system. It explains how citizens can help to prevent fraud and errors by staying informed about financial issues and by reporting any suspicious activity.

- Considérations d'ordre génétique

Les minerais constituent encore le remplissage de vides créés par la bréchification et leur mise en place semble contemporaine des mouvements tectoniques qui ont fait rejouer en plusieurs temps les épontes des filons.

La blende est riche en fer qui permet la cristallisation de pyrrhotine.

Conclusions de l'étude des mines du Mollard

Caractères structuraux

Les caractéristiques suivantes sont à retenir pour l'ensemble des filons du Mollard :

1- Ils ne se prolongent pas sur la rive droite de l'Eau d'Olle.

2- Ils appartiennent à la famille des gîtes de fractures. On peut s'attendre chez eux à une continuité probable.

La puissance des zones minéralisées semble en général peu connue, l'existence de poches riches est de règle.

3- Leur minéralisation est riche en métaux précieux or et argent.

4- Les filons 1, 2, 3 et 4 recoupent le n° 5.

5- Les N° 1 et 2 ont bien des chances de n'être qu'un même filon. P.Evrard pensait recouper au niveau de la galerie n° 5, le n° 4 à 80 m, les n° 1 et 2 respectivement à 130 et 140 m. L'affleurement du n° 1 irait traverser la Combe Piquante en dessous de l'ancienne mine du Grand Bois. Le n° 5, lui, pourrait se situer sur un accident qui se prolongerait aussi vers la Mine du Grand Bois.

Caractères métallogéniques

En raison du caractère hétérogène des échantillons recueillis, il est impossible d'établir si l'on se trouve en présence de différentes phases dans la mise en place des minéralisations.

Si, d'après les études microscopiques, la possibilité de plusieurs blendes ou de plusieurs chalcopyrites est à envisager, d'après les teneurs en fer ou la nature des inclusions, seules des études de traces effectuées sur des minéraux soigneusement triés à partir d'un échantillonnage systématique permettraient d'apporter des éléments nouveaux pour l'étude génétique des filons du Mollard.

Par la même occasion, la géochimie de l'or, de l'argent et éventuellement du platine serait précisée.

Il est cependant possible de conclure partiellement en remarquant :

- qu'il semble exister plusieurs paragénèses :

1- paragénèse à chalcopyrite dominante, accompagnée de pyrite, pyrrhotine, blende et galène, mise en place dans les zones où le quartz est l'élément de gangue dominant.

2- paragénèse à blende brune dominante avec de la galène. Elle est bien représentée au filon n° 5.

L'or et l'argent doivent sans doute être séparés de ces paragénèses, du moins tant que leur relation avec les autres minerais n'est pas établie.

- que ces paragénèses semblent s'être mises en place dans des conditions de température mésothermales, mise en place effectuée pendant les phénomènes tectoniques responsables de la création des filons complexes.

- que l'orientation des cassures a pu jouer un rôle dans le cheminement des agents minéralisateurs. Ainsi pourrait s'expliquer la nette différence de minéralisation entre les filons 1, 2, 4 et 5.

B.- M i n e d u G r a n d B o i s

Accès et historique : située à environ 500 mètres d'altitude au dessus des mines du Mollard, dans le même contexte géologique, il s'agit sans doute d'anciennes mines de fer où étaient exploitées la

sidérose et les limonites dérivant de leur altération. Il n'existe aucune archive la concernant.

Seuls subsistent des galeries effondrées, des vestiges de bâtiments et des haldes, certaines presque totalement recouvertes par la végétation.

- Gangues

Outre des débris de roche encaissante, les haldes renferment :

- du quartz blanc, bréchique, à chlorites et pyrite.
- des fragments de brèches à calcite, sidéroses, minéraux noirs dérivant de carbonates, diallogite ou ankérite ; tous ces minéraux sont plus ou moins oxydés. Il y a de la pyrite complètement limonitisée.

La similitude des gangues avec celles du Mollard est nette.

- Minéralisations

Il n'a pas été possible de recueillir un seul échantillon ayant un semblant de représentativité parce qu'on ne sait rien de cette mine. Les minéraux observés sont les suivants :

1) Chalcopyrite

Elle se trouve en petites mouches incluses dans les carbonates et ne présente aucun caractère particulier.

2) Pyrrhotine

Elle subsiste en reliques dans des plages de goethite et elle est parfois étroitement associée à la pyrite qu'elle remplace. Un cristal de pyrite est entouré de pyrrhotine qui renferme elle-même des reliques de pyrite (photo n° 4, Pl. IV). Alors que le centre du cristal de pyrite est isotrope, son pourtour présente, sur une faible épaisseur, une anisotropie anormale qui fait penser à une auréole réactionnelle résultant du remplacement de la pyrite par la pyrrhotine, par réduction de FeS_2 et départ de S—.

Sur une autre plage, le remplacement se propage assez loin dans la pyrite, à la faveur d'une diaclase (photo n° 4, Pl. IV). En bordure des grains, la pyrrhotine présente le phénomène d'altération en marcassite déjà cité

dans le filon n° 1 du Mollard. L'altération en goethite a beaucoup moins d'importance. Elle n'est qu'une altération supergène des deux minéraux cités plus haut.

Une analyse faite en 1961, au B.R.G.M., n'a donné qu'une teneur de 2 g/T d'argent.

- Conclusions

Si l'hypothèse d'une exploitation pour fer, à partir de carbonates plus ou moins oxydés (eux-mêmes minéraux de gangue), est retenue ; si d'autre part on considère que bien des filons de fer spathiques anciennement exploités dans la région renfermaient des sulfures, galène, blende, chalcoppyrite qui en empêchaient parfois l'exploitation (Mines de Montjean, près de Vizille), il y a lieu de se demander si les filons du Grand Bois ne sont pas une continuation des filons du Mollard. Des travaux de surface pourraient le vérifier, les éléments structuraux étant insuffisants pour conclure.

Un seul apport génétique important ressort de cette étude : la transformation de la pyrite en pyrrhotine. D'après les expériences de laboratoire citées par H. Schneiderhöhn (1941) $\text{FeS}_2 \rightleftharpoons \text{FeS} + \text{S}$ se fait dans le sens 1 entre 665° et 575° à la pression atmosphérique. Mais il signale que cette réaction ne peut qu'exceptionnellement servir de géothermomètre.

Retenons seulement de cette étude fragmentaire, qu'après la cristallisation de la pyrite, des conditions fortement réductrices sont apparues, correspondant à des profondeurs ou des températures suffisantes pour effectuer, partiellement du moins, la transformation en pyrrhotine.

C.- Mine du Villaret

Les affleurements du Villaret se trouvent dans une zone extrêmement ébouleuse et rien ne subsiste des anciennes exploitations. Je me bornerai à reproduire un plan des travaux, annexé au rapport P. Evrard, et ne retiendrai que les grandes lignes de la description de ce quartier, (Fig. n° 15, p. 68 bis).

P. Evrard (1898) signale 9 filons de faible puissance, en général assez peu minéralisés ; ils renferment de la galène, de la pyrite, de la chalcopryrite et un peu de blende. Leurs orientations dominantes : N.E., N.W. et N.S.

Dans un seul de ces filons, le n° 11, des travaux d'abattage eurent lieu dans un chantier de 22 mètres de long et 12 mètres de hauteur. Les analyses chimiques ont donné des teneurs en argent de l'ordre de 2 kg à la tonne de plomb d'oeuvre et des teneurs en or de l'ordre de 10 g/T.

Encore une fois, les échantillonnages ne sont pas justifiés et les chiffres cités sont sans signification.

Les travaux souterrains ont rencontré un banc de roches à amphiboles qui furent comparées à celles des Chalanches.

Les travaux récents ont rencontré d'anciens chantiers, beaucoup plus anciens, sur l'âge desquels il est impossible de se prononcer.

D.- M i n e s d e l a C o m b e

Historique

P. Evrard rapporte :

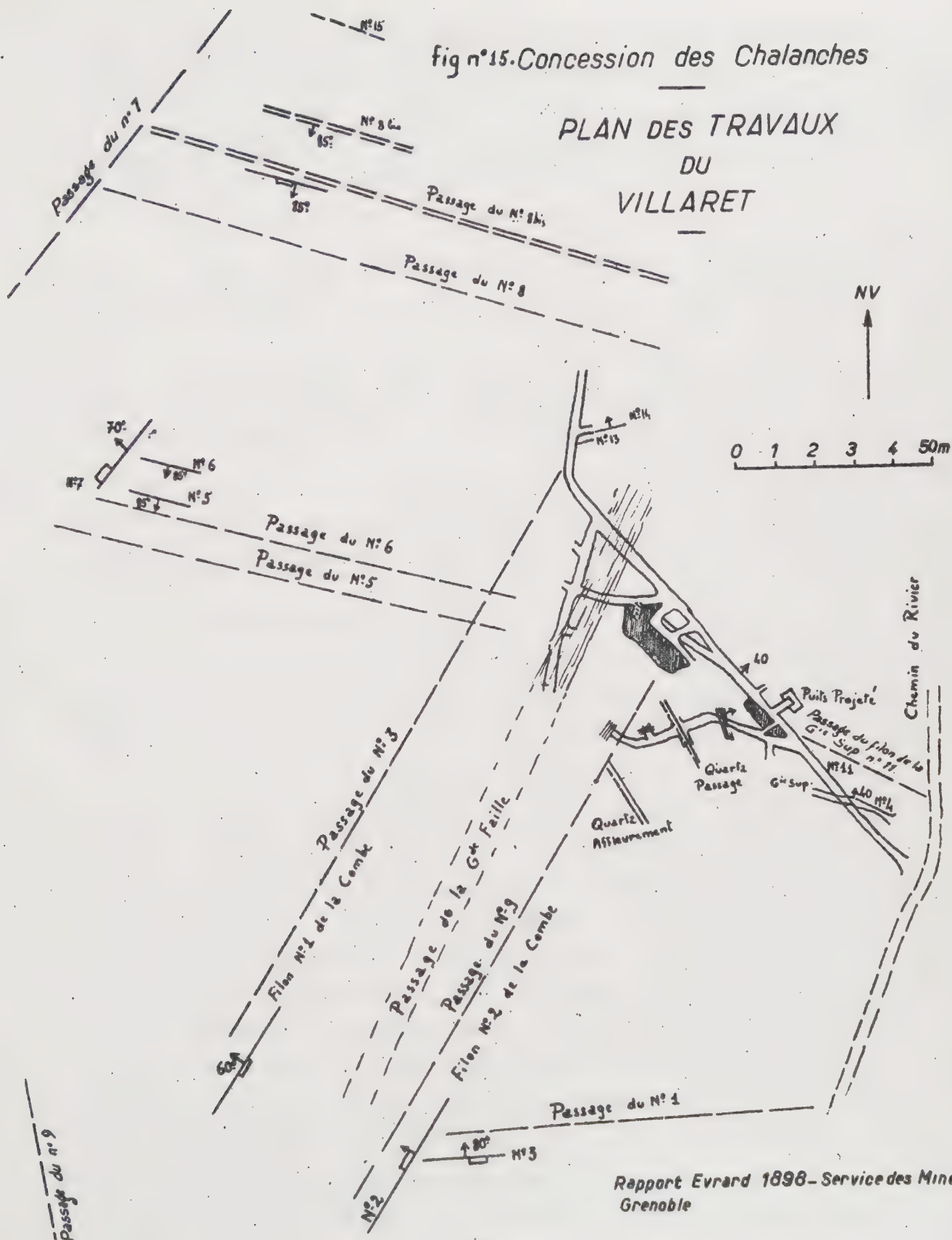
Un peu au dessus du hameau de la Combe, on remarque les traces d'une exploitation souterraine très ancienne, contemporaine sans doute des premiers travaux des Arabes et du Villaret. En 1875, sur l'emplacement des haldes anciennes, des fouilles ont eu lieu, provoquées par la découverte de fragments de galène dans les champs de la Combe et d'un bloc de galène massive de 208 kg trouvé plus bas, près de la Drayrie, et descendu en ce point avec les éboulis du ravin. Ces fouilles avaient été rapidement arrêtées par les réclamations des paysans, causées par la disposition très en pente des terrains ; cultures et habitations se trouvaient menacées par l'entraînement inévitable des déblais. Cependant, la présence de deux filons parallèles de galène, distants d'environ 50 m et dirigés N.E.-S.W. avaient pu être constatés,

comme les filons :

- 9 et 10 des Arabes
- 2, 3 et 7 du Villaret
- les deux filons de la Combe Henry
- le n° 5 du Mollard
- le filon de la Jasse d'Articol

fig n°15. Concession des Chalanches

PLAN DES TRAVAUX DU VILLARET



La Combe est bâtie sur la rive gauche du ravin de la Drayrie dans lequel le Lias s'est avancé en pointe épaisse. Les anciens mineurs avaient creusé une galerie dans le Lias afin de recouper à peu de distance le filon inférieur de la Combe, dans le gneiss où il affleure. En automne, il sera intéressant de rechercher entre la Combe et le Villaret le prolongement des deux filons de la Combe car la galène trouvée dans le voisinage des anciens travaux est fort belle.

fin des extraits du rapport P. Evrard.

Accès : Près du terminus de la route de la Combe, d'anciennes haldes sont facilement repérables. Au dessus se trouve une galerie effondrée.

En suivant un sentier reporté sur la carte au 1/20 000, on arrive près d'un châtaignier ; à 20 mètres environ au-dessus subsistent d'anciens grattages et ce qui semble être une galerie récemment effondrée.

Enfin, en rive droite du torrent de la Combe, dans le versant où affleurent les gneiss, une galerie ouverte en direction dans des gneiss orientés au N.W., avec un pendage S.W. de 50° est encore visible.

Description des filons

Les principales galeries étant effondrées, il faut se contenter de l'examen des haldes pour avoir une idée de la composition des gangues, des minéralisations et de leurs roches encaissantes.

L'ensemble des galeries repérées étaient ouvertes dans des gneiss. La galerie inférieure a d'abord traversé un peu de Lias avant d'entrer dans les gneiss à muscovite qui affleurent au-dessus de la Combe et dans le ruisseau de la Drayrie. La galerie supérieure était creusée dans les mêmes gneiss très fauchés, à nombreuses lentilles de quartz blanc d'exsudation. Sur la plate-forme de cette galerie, des blocs de l'ordre du kilogramme de quartz et galène, cette dernière dominante, ont été ramassés. Ils semblent provenir d'un filonnet très fortement rubanné avec lambeaux d'éponte séricitisés et contournés. La galène elle-même a été affectée par les mouvements tectoniques et renferme un peu de chalcopryrite et de blende brune.

La galerie située en rive droite du torrent de la Combe est ouverte sur une zone filonienne composée d'amandes de quartz blanc, avec

fragments d'éponte. Les lentilles de quartz ont de 10 à 20 cm de puissance maximum et une longueur de l'ordre du mètre. Elles sont concordantes avec la foliation et se relayent pour prendre parfois l'aspect d'un filon de 30 à 60 centimètres de puissance de quartz blanc, avec rubannement. Le mur est très broyé.

Les zones à quartz et oxydes rouges et noirs dominent parfois sur le quartz blanc. A 5 mètres de l'entrée la structure devient plus régulière et les micas blancs plus rares dans les épontes.

Pour quelle raison cette galerie fut-elle tracée ? Il n'existe aucun indice de minéralisation. Peut-être s'agit-il d'une amorce creusée pour tenter de recouper les filons déjà reconnus.

- Gangues

Le quartz est à peu près l'unique constituant des gangues observées dans les haldes. Blanc dans les échantillons recueillis dans la galerie supérieure, il est, dans un bloc trouvé dans les haldes de la galerie inférieure, bleuté, d'allure bréchique et il renferme des amas de terres rouges dérivées de blende et de chalcoppyrite. Les minerais constituent le remplissage de zones bréchiques, conséquences des efforts tectoniques subis par les filons de quartz.

- Les minéralisations

Quatre sections polies ont été faites dans des échantillons trouvés dans les haldes ; trois furent taillées dans un bloc minéralisé provenant de la galerie inférieure et la dernière dans une brèche fortement minéralisée en galène avec un peu de blende, de pyrite et de chalcoppyrite. Dans les fragments de brèche minéralisés, la galène remplit les vides laissés par le broyage du quartz. Les minéraux principaux sont :

1) La blende

A l'oeil nu elle est très brune. Sous le microscope elle se présente en plages à mauvais poli, parfois fortement cataclasée à grandes macles. Au premier abord, c'est l'abondance très grande des inclusions

de chalcopryrite qui attire l'attention (photo n° 6, Pl. IV) , certaines à peine visibles aux plus forts grossissements, les autres en grandes plages. Dans ce cas, elles renferment de la pyrrhotine en grains, de la galène en plages arrondies, incluse de préférence dans la blende. La blende se trouve aussi en inclusion dans la galène et en exsolution dans la chalcopryrite (photo n° 5, Pl. IV).

2) La galène

En grandes plages plus ou moins cataclasées, en grains de l'ordre du millimètre, elle est en voie d'altération supergène. Elle contient en inclusion de la chalcopryrite, de la blende et de la pyrrhotine. En bordure de la galène, de l'argyrose a pu être observée. Dans la galène existe un autre minéral plus tendre que cette dernière et à pouvoir réflecteur voisin. Il a un léger pléochroïsme verdâtre. Il est en bâtonnets, en losanges ou en choux-fleur et semble légèrement anisotrope.

3) La chalcopryrite

Elle se trouve, comme nous l'avons vu, en inclusions dans les différents minéraux, mais aussi en grandes plages qui renferment de la blende et de la pyrrhotine. Elle entoure parfois des cristaux de pyrite très cassés.

La chalcopryrite semble avoir cristallisé en même temps que les autres minéraux. Les inclusions de blende sont indépendantes des lamelles de macles (photo n° 5, Pl. IV).

4) La pyrite

Incluse dans la chalcopryrite et la galène, elle est fortement cataclasée et ses cassures sont indépendantes des cassures des autres minéraux (la chalcopryrite en particulier) ce qui semble indiquer pour ce minéral une origine antérieure.

- Analyses chimiques

Il n'y a pas d'analyses anciennes dans les archives.

Une analyse effectuée au B.R.G.M. à Paris, en 1961, sur le bloc

de quartz minéralisé provenant de la galerie inférieure a donné :

Ag : 18 g/T ; Au : < 0,5 g/T ; Pt : < 0,5 g/T.

L'amalgamation a été négative.

Le plomb n'ayant pas été dosé, la teneur en argent n'a qu'une faible signification.

- Conclusions

Aucune observation n'a pu être faite sur un filon en place, il faut donc être très prudent dans l'interprétation des observations de terrain et de laboratoire.

De l'examen des déblais et des éluvions, une similitude de mise en place apparaît pour les filons de la Combe et du Mollard. Il y a une nette liaison entre les efforts tectoniques et la mise en place du quartz. La pyrrhotine en masse n'a pas été observée, mais ce minéral existe en inclusion dans la blende et la chalcoppyrite. Une différence à noter est l'absence de carbonates parmi les minéraux des gangues.

Nous retiendrons que la mise en place des filons est liée à la tectonique, que la minéralisation est un remplissage de brèche et que les conditions de génèse des minerais sont assez semblables à celles du Mollard.

E.- Les Granges et le Coteysard

Vraisemblablement dans le prolongement des affleurements de la Combe et du Villaret se trouvent, près du hameau des Granges en rive gauche du ruisseau de la Drayrie, des travaux de recherches qui furent entrepris au moyen de deux petites galeries d'une dizaine de mètres de longueur, sur deux filons dirigés N.W.-S.E., d'une puissance de 0,50 à 0,80 m. Les filons étaient peu minéralisés au point où on les a reconnus ; ils renfermaient de la chalcoppyrite et de la galène, ce dernier minéral étant le plus important.

P. Evrard rapporte une analyse de M. Primat qui trouvait 1,860 kg d'argent à la tonne de plomb d'oeuvre.

Ces anciens travaux n'ont pu être retrouvés ; par contre, dans le ruisseau du Coteyssard, en amont des travaux de la Combe, un bloc de quartz de plusieurs kilogrammes a été recueilli. Il était bien minéralisé en galène et renfermait en outre un peu de chalcoppyrite.

P. Evrard signalait d'autre part dans son rapport que des travaux peu importants avaient été effectués au Coteyssard ; il ne disposait d'aucun renseignement concernant ces recherches. Je n'ai pas eu plus de chance que lui. Les filons qu'il a reportés sur son plan au 1/10 000 de la Concession des Chalanches, filons qu'il signale sous le nom d'affleurements du Grand Ravin n'ont pas été repérés.

F.- M i n e d e s A r a b e s

- Accès

Ces mines se trouvent sur le chemin de St-Jean, route de terre qui suit le flanc de la montagne, d'Allemont à Champeau, près du contact Lias - Socle.

- Historique (Fig. n° 16, p. 73 bis).

Rapporté par P. Evrard (1898), un bref résumé rend plus intelligibles les observations faites en 1961 et 1962 dans ce quartier.

La tradition fait remonter aux Sarrazins les premiers travaux miniers, d'où le nom des "Arabes" donné à ce groupe de travaux. L'exploitation des anciens s'est surtout concentrée dans les colonnes riches qui affleuraient et aux croisements des filons. Procédant par descenderies venant du jour, ils ont atteint une profondeur d'une trentaine de mètres. D'importantes poches de minerai furent ainsi enlevées.

Lors de la dernière reprise, à la fin du XIXe siècle, c'est encore aux Arabes que se sont concentrées les plus importantes recherches. Un travers-bancs et une galerie en direction furent ouverts. La galerie recoupa 3 filons. Les deux premiers étaient faiblement minéralisés, le n° 3 lui, orienté N. 59° W, de pendage 60° S.W., fut l'objet de travaux

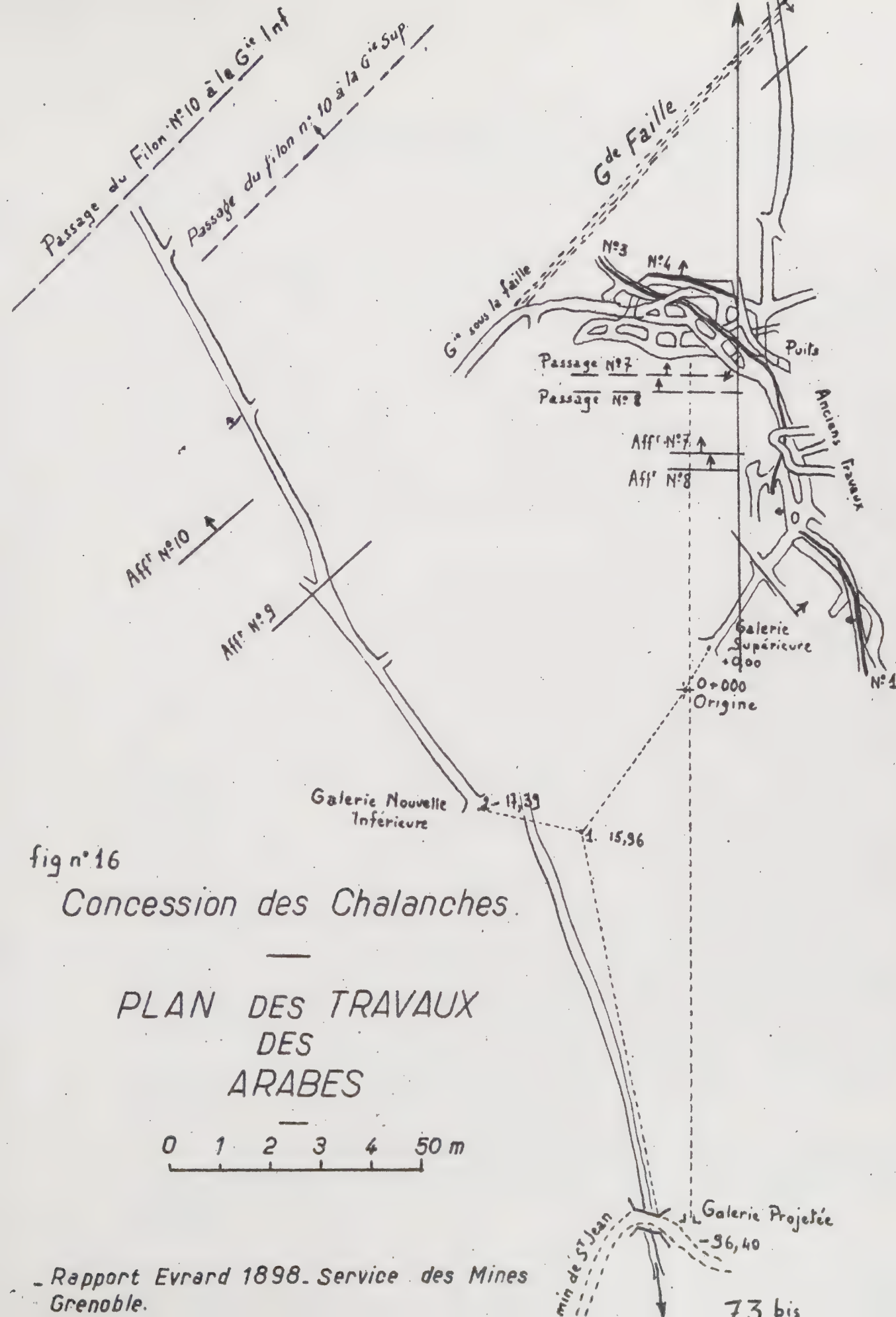


fig n°16

Concession des Chalanches.

PLAN DES TRAVAUX DES ARABES

0 1 2 3 4 50 m

importants. Une grande partie du minerai abattu se trouve encore sur le carreau de la mine ; c'est de là que proviennent les échantillons décrits plus loin.

- Etat actuel des travaux (1961)

La nouvelle galerie foncée par la French Mines (XIXe siècle), en rive droite du ruisseau, est effondrée. Le travers-bancs l'est aussi, mais sur la plate-forme il reste plusieurs dizaines de tonnes de tout venant abattu au cours des travaux de chassage dans le filon n° 3. En dessous des haldes récentes, à environ une vingtaine de mètres, existe une autre plate-forme recouverte d'arbres et de broussailles qui pourrait être l'entrée des anciens travaux noyés que le chef mineur avait repérés. La finesse des déblais donne à penser qu'ils furent abattus avec des moyens manuels.

A droite de la plate-forme de triage du T.B., à une trentaine de mètres subsiste une descenderie bien conservée qui permet de visiter une partie des anciens travaux. Ceux-ci sont bien plus développés que ne l'indiquent les plans. Le filon travaillé est sans doute le n° 1. Il s'est mis en place dans des zones faillées, à remplissage complexe de débris de la roche encaissante cimenté par des argiles. Il se présente en grosses amygdales qui devaient avoir plusieurs mètres et dont il ne reste que les dépilages. Les parties qui subsistent sont des étranglements du filon où l'on trouve de la malachite, de l'hydrozincite, des terres rouges et noires. La mise en place du filon a eu lieu avant la fin des mouvements tectoniques car, localement, il est réduit en un gravier très fin imprégné de limonites. Les remplissages de faille ont une telle importance que parfois la galerie semble avoir été creusée dans un ancien remblayage. Les galeries sont praticables avec prudence, leur réseau est très complexe et seul un levé topographique et géologique permettrait de s'y retrouver. Parfois le remplissage des failles a coulé, provoquant l'éboulement d'un matériel meuble qui arrête l'exploration.

Des éboulements empêchent d'atteindre le T.B. du XIXe siècle ; seuls les anciens travaux effectués dans le filon n° 1 peuvent donc être visités.

Sur le chemin qui conduit d'Allemont au Clot, dans un gneiss diaclasé, affleure un filon d'allure lenticulaire déjà signalé. Il est minéralisé en chalcopryrite, blende, galène et pyrite, avec des terres rouges et noires d'altération.

Une galerie fut creusée à l'allongement, dans le filon. Les travaux, assez limités, se bornèrent au traçage. Après avoir traversé le filon du mur au toit, le travers-bancs se dirige vers le Nord, sans retrouver d'autres formations minéralisées. Ce filon semble avoir été pauvre.

La visite de ces anciens travaux conduit à formuler quelques remarques :

1) Le remplissage des failles où se sont mis en place les filons est assez meuble ; par ailleurs, les formations minéralisées furent reprises par des mouvements tectoniques et les phénomènes de fauchage intervenant, une faille est souvent difficile à distinguer d'une simple diaclase. C'est ce qui explique le peu d'affleurements minéralisés rencontrés dans la région.

2) Les directions des filons ne sont que subjectives parce que très variées dans le détail. Les directions moyennes apparaîtront plus clairement lorsqu'un plan des travaux souterrains sera disponible.

Les échantillons étudiés proviennent tous du tas de minerai abandonné sur la plate-forme de triage et abattu dans le filon n° 3. Sur quelques blocs, on observe un net rubannement.

- Gangues (photo n° 3, Pl. II).

Le quartz rouge, carié, domine largement, la calcite est beaucoup plus rare, en beaux cristaux. Il n'y a pratiquement pas de brèches affectant les roches encaissantes, mais le rubannement parfois observé affecte aussi bien les épontes que la minéralisation.

- Minéralisations

Les minerais métalliques sont les suivants :

1) De la blende

Elle est très brune sur échantillon macroscopique. Microscopi-

quement, elle contient des reliques de galène et de très nombreuses inclusions de chalcopryrite et de pyrrhotine, en grains ou en bâtonnets sans orientation préférentielle. L'altération supergène de la blende aboutit à son remplacement par des goethites et limonites renfermant parfois de la covelline en grains. Il arrive que la covelline soit en beaux cristaux lamellaires.

2) De la pyrite

Elle subsiste en îlots dans les minéraux supergènes. Son poli est généralement mauvais, sauf pour les reliques de petite taille. Chalcopryrite, blende et galène entourent des plages de limonite qui, elles-mêmes, renferment de la pyrite. La pyrite semble indépendante des autres minéraux.

3) De la galène

En plages à bon poli, elle est en général en voie d'altération superficielle. Très souvent, la galène ne subsiste qu'en fins lambeaux entourés de minéraux transparents. Elle peut renfermer des inclusions de chalcopryrite ou se trouver elle-même en inclusions dans la blende. Un minéral à fort pouvoir réflecteur, semblable à celui déjà rencontré à la Combe, est à signaler. La galène est logée parfois dans les plages de pyrrhotine.

4) De la chalcopryrite

Elle se présente en grandes plages diaclasées, bordées de limonites et renferme en inclusion de la blende, de la pyrrhotine et parfois de la galène, surtout en bordure. Les inclusions de blende sont en général à bords lobés, la pyrrhotine, elle, est en gouttelettes ou en bâtonnets. Toutes ces inclusions sont parfois grossièrement alignées, sans qu'il y ait de relation entre les lamelles de macle de la chalcopryrite.

Dans une inclusion de blende assez grosse, trois inclusions de pyrrhotine en bâtonnets alignés parallèlement à leur grand axe ont pu être observées.

5) De la pyrrhotine

Elle semble assez rare puisqu'un seul échantillon a pu être recueilli (photo n° 3, Pl. II). Elle contient de la galène et présente les caractères des pyrrhotines précédemment citées au Mollard : cassures soulignées par le développement d'un minéral fortement anisotrope de la famille de la marcassite. De plus, elle renferme des inclusions en "oeil d'oiseau" de pyrite et de marcassite extrêmement difficiles à séparer, tant à cause de la finesse du grain que des conditions de polissage délicates dans cet assemblage complexe de minerais.

La pyrrhotine peut exister en grandes inclusions dans la chalcopryrite et présenter les mêmes caractères. Lorsqu'elle borde la chalcopryrite, elle présente l'aspect déjà signalé lors de l'étude du filon n° 4 du Mollard ; les lamelles sont cependant beaucoup moins soulignées par l'altération en goethite.

- Analyses chimiques

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Ag g/T	905	1 030	434,5	1 000	454,5	74	80	227,8
Au g/T	32	23	13,5	500	12,5	< 0,5	< 0,5	1
Pt g/T	-	-	-	-	-	< 0,5	-	-
Pb %	10	6,83	29,8	-	2,22	-	2,8	19,4
Zn %	-	-	-	-	-	-	1,95	-
Cu %	-	0,52	-	-	-	-	0,35	0,7

Tableau n° 4.- Analyses effectuées sur le filon n° 3 des Arabes.

- (1) D. Thomas, 1890 (cité par P. Evrard)
- (2) Deshayes, 1896 " "
- (3) Mercier, 1897 (échantillonneur : Evrard)
- (4) Primat, 1897 (cité par Evrard)
- (5) Mercier, 1898 (échantillonneur : Evrard)
- (6) B.R.G.M., 1961 Paris. (échantillon de 100 kg environ broyé et quarté par Clavel).

- (7) Même échantillon, analyse de contrôle, B.R.G.M. Maison Carrée (1961).
(8) Analyse Minerais et Métaux (août 1961).

Si les différentes teneurs en argent citées sont ramenées, quand cela est possible, à la tonne de plomb d'oeuvre, on obtient :

(1) 9,050 Kg/T Pb d'oeuvre	(5) 20,4 Kg/T Pb d'oeuvre
(2) 15,07 " " "	(7) 2,850 " "
(3) 1,450 " " "	(8) 1,174 " "

La teneur en or trouvée en (4) est à éliminer. Il est possible que les autres teneurs aient été obtenues en analysant des minerais triés. P. Evrard remarque que l'or semble surtout concentré dans les terres rouges d'épentes. L'amalgamation a donné quelques paillettes d'or natif visibles sous la binoculaire. Les pannages dans le tout-venant n'ont donné aucun résultat. Il existe donc peu de chances de trouver de l'or gros.

- Conclusions

Les Arabes représentent le quartier de mines le plus exploité de la région d'Allemont. Si les minéralisations sont les mêmes que celles déjà observées dans les autres quartiers, les gangues sont différentes. La calcite devient très rare, alors que le quartz domine. La bréchification des épentes est beaucoup moins nette, tout au plus y a-t-il un rubannement avec séricitisation des minéraux phylliteux de la roche encaissante.

Les filons sont nettement isolés de la caisse par des salbandes argileuses. La minéralisation est, ici encore, liée à la tectonique. C'est avec le filon n° 4 que les échantillons examinés aux Arabes montrent le plus de ressemblance (N° 4 du Mollard).

La minéralisation, indépendamment d'un remplissage dans le corps du filon, semblait se concentrer en poches riches, comme dans les autres gisements. Cet enrichissement est-il lié uniquement à la présence de croiseurs, comme le fait remarquer P. Evrard ? La géométrie du gisement n'étant pas connue, il est difficile de se prononcer.

G.- La Fare, l'Ecuelle, Champeau, La Roche

Historique

La zone où se trouve ce groupe d'anciennes mines est limitée :

- à l'Ouest par la combe de la Vesse
- à l'Est par l'affleurement du Lias
- au Nord par le chemin de Saint-Jean
- au Sud par la route qui, traversant le hameau des Pernières, rejoint la centrale E.D.F. de Bâton.

Sur la carte au 1/20 000 de l'I.G.N., seule l'ancienne mine de plomb de l'Ecuelle est mentionnée. En réalité, l'importance des haldes observables actuellement donne à penser que les travaux miniers furent très importants dans cette zone ; toutes les compagnies minières y firent des recherches. Sauf quelques procès-verbaux de visite effectués par les Ingénieurs du Service des Mines de Grenoble, il ne subsiste que peu de renseignements sur ces quartiers.

Un procès-verbal de 1902 signale :

1- A 100 m au dessus de l'Eau d'Olle, à 80 m au Sud de l'aplomb de la route de Rochetaillée à Allemont existe un travers-bancs N.N.E. destiné à recouper un filon anciennement exploité au moyen d'une galerie tracée suivant son pendage.

2- A 45 m au dessus on fit une attaque dans un filon peu minéralisé en surface renfermant de la chalcoppyrite et de la galène. Sa puissance est de 2 mètres.

3- Le filon reconnu en surface se prolonge, avec des ondulations, en un affleurement E.W. souligné par une zone très rouge qui renferme des traces de malachite.

4- A 350 m à l'Est, des fouilles furent faites dans des éboulis provenant d'anciens travaux.

Les procès-verbaux de 1903 et 1904 parlent de travaux qu'il n'est plus possible de repérer actuellement. Il en ressort qu'il existait 4 filons de 1 à 2 mètres de puissance, parfois bien minéralisés. Le travers-bancs signalé en (1) dans le P.V. de 1902 est attribué à Schreiber.

- Accès

Deux niveaux sont facilement accessibles :

- l'Ecuelle, la Fare et la Roche, grâce au chemin de Saint-Jean qui se trouve à environ 200 m au-dessus du niveau de la vallée ;

- Champeau, par la petite route qui, en rive droite de la Romanche, par les Pernières, rejoint le pont de l'Aveyna situé en amont de Livet.

- Description de la zone étudiée

Les gneiss qui bordent le chemin de Saint-Jean sont extrêmement diaclasés, faillés, fauchés et l'étude des filons est à peu près impossible actuellement. Afin de tenter une synthèse des divers renseignements recueillis, les affleurements du chemin de Saint-Jean seront décrits des mines à la combe de la Vesse, ainsi que les indices minéralisés et les anciens travaux dont ils furent l'objet. L'étude se poursuivra selon le plan adopté pour la description des autres quartiers.

L'ancienne mine de l'Ecuelle, en contrebas du chemin, est située dans des gneiss à muscovite et tourmaline noire très diaclasés ; ces dislocations ne sont souvent que des phénomènes de fauchages. Des micaschistes à grenats surmontent les gneiss ; une zone d'éboulis leur fait suite. Peu avant d'arriver à la combe de la Vesse, le chemin traverse des roches d'aspect micaschisteux, riches en chlorites et amphiboles, qui représentent la base de la série verte. Toute cette zone est remarquable par le grand nombre de failles à remplissage argileux qui la recoupent. Les diaclases, très nombreuses, sont parfois minéralisées en calcite, chalcopryrite, sidérose et galène.

Le long du chemin, un filon de quartz blanc affleure. Dirigé E.W., son pendage est de 40 à 50° Nord ; ses épontes sont mal individualisées. Il a fait l'objet d'une fouille qui n'a révélé que des traces de chalcopryrite et de malachite. Localement, ce filon est géodique, avec cristallisation de quartz blanc ; des diverticules de quartz rougeâtre renferment un peu de pyrite : il s'agit sans doute du filon cité en 3- dans le P.V. de 1902.

L'examen de ces affleurements permet d'observer une cataclase intense. Deux accidents principaux ont été repérés :

- une grande faille Nord-Sud longeant la combe de la Vesse,
- une faille de direction Nord-Est parallèle au contact gneiss-Lias.

Les anciens travaux ont consisté
en dépilage de surface des filons,
en exploitation par galeries. Une seule galerie a été repérée.
Il s'agit vraisemblablement du T.B. dû à J. Schreiber (P.V., 1904). La
minéralisation était faible, ce qui explique le peu d'extension des
travaux.

en dessous du chemin, à la Roche, une grande excavation existe
qui ne correspond pas à un accident topographique. Le fond est rempli
d'éboulis, les bords sont taillés en gradins. Il s'agit probablement
d'une ancienne carrière. Les éboulis contiennent des fragments de brèches
à carbonates, un peu de quartz rouge à chalcopryrite et galène et des fi-
~~lonnets~~ de quartz de quelques centimètres de puissance d'éponte à éponte,
peu minéralisés. Les stries de glissement aux épontes sont assez géné-
rales ; elles sont soulignées par des produits micacés noirâtres.

Des échantillons minéralisés peuvent être recueillis au-dessus
du chemin, dans des haldes qui s'étendent sur près de 300 m de longueur.

Dans les éboulis, des blocs de quartz, blancs lorsqu'ils sont
stériles, rouges lorsqu'ils sont minéralisés, renferment de la pyrite,
de la chalcopryrite et un peu de galène. La galène ayant été le principal
minerai exploité, il n'est pas étonnant d'en trouver assez peu. Un bloc
de plusieurs dizaines de kilos a été trouvé au dessus du chemin ; étant
donnée sa taille, il est peu probable que ce bloc ait été extrait de
travaux souterrains. Son origine éluvionnaire est à envisager. Les
entrées de galeries sont effondrées et le sommet des déblais qui en pro-
viennent est recouvert d'éboulis récents, d'où la difficulté du repérage
des points d'attaque.

Au dessus du chemin des Pernières, près de la combe de la Vesse,
les éboulis minéralisés sont importants. Il n'a pas été possible de
repérer les entrées des galeries.

Les caractères principaux suivants sont à retenir :

- les blocs minéralisés ont une gangue de quartz.
- la blende, beaucoup moins importante que dans les autres quartiers,
présente les mêmes caractères macroscopiques.

- Gangues

A quartz dominant, elles renferment peu souvent de la calcite et de la sidérose. Dans les éluvions à carbonates dominants, il n'y a pas de minéralisation visible. Le quartz est fortement bréchifié, souvent très carrié, plus rarement géodique. La minéralisation se trouve dans les vides créés lors des mouvements tectoniques (photo n°4, Pl. II). Certains blocs, vraisemblablement proches des épontes, montrent un rubanement avec séricitisation des fragments de roche encaissante inclus. Les stries de glissement qui ont déterminé un clivage de la roche sont nombreuses et, dans un bloc strié, il y a un net parallélisme entre la minéralisation à galène dominante et le plan de glissement (photo n° 2 , Pl.II).

- Minerais

1) Blende

Toujours cataclasée, elle peut contenir de la pyrite très altérée et des inclusions de chalcopryrite et de pyrrhotine ; ces deux minéraux étant incidemment associés en une même inclusion.

2) Galène

Très souvent en voie d'altération supergène poussée, elle peut, en particulier dans les filonnets riches en pyrite, inclure ce dernier minéral. La galène remplit les vides créés lors de la bréchification du quartz. Souvent étroitement associée à la blende, elle y subsiste en inclusion ou en bordure.

3) Pyrite

En individus cassés, à grain fin, il n'y a pas de relation visible entre la cataclase du quartz et celle de la pyrite. Comme elle peut être incluse indifféremment dans les autres minéraux, elle leur semble antérieure.

4) Chalcopryrite

Elle renferme aussi de très nombreuses inclusions de blende en étoiles ou en bâtonnets, de pyrrhotine en grains.

5) Covelline

Un peu plus abondante que dans les autres mines, elle pseudo-morphose la galène, la blende ou se développe dans les cassures de la chalcopryrite. Habituellement, elle est en grains disséminés dans les minéraux d'altération supergène.

- Analyses chimiques

	(1)	(2)	(3)	(4)
Ag g/T	46	50	270	15
Au g/T	< 0,5	< 0,5	0,8	tr
Pt g/T	< 0,5	< 0,5	-	-
Pb %	-	-	17,6	0,19
Zn %	-	-	-	< 0,05
Cu %	-	-	-	0,11
Co %	-	-	-	tr

Tableau n° 5. - Analyses effectuées sur des échantillons provenant de l'Ecuelle.

- (1) Analyse B.R.G.M. Paris, 1961.
- (2) Analyse B.R.G.M. Maison Carrée, 1961 (contrôle).
- (3) Cogimines, 1961. Echantillon choisi.
- (4) Minerais et Métaux, échantillon moyen provenant des haldes, 1961.

Pour (3) et (4), les teneurs en argent, ramenées à la tonne de plomb d'oeuvre, sont respectivement de 1,5 kg et 0,789 kg.

- Relations mutuelles des minerais

La minéralisation est constituée par le remplissage d'une brèche d'origine tectonique. Il est difficile de savoir s'il existe un ordre dans le dépôt des minéraux principaux, chalcopryrite, blende, galène. La pyrite semble pour une part antérieure à ces minéraux, mais

aussi contemporaine des mouvements tectoniques responsables du rubannement des épontes ; dans ce cas, elle semble plus récente que la paragégnèse principale.

- Mise en place

Les caractères de la mise en place des minéralisations sont identiques à ceux rencontrés dans les autres quartiers.

- Conclusions

Les données précises sur la géométrie du gisement font, ici encore, défaut.

Entre les Arabes et l'Ecuelle, des observations susceptibles de donner des indications sur la continuité de la zone minéralisée sont maintenant rapportées.

Un sentier part à l'Est de l'Ecuelle du chemin de Saint-Jean pour rejoindre le hameau des Clot. Un peu au-dessous de ce sentier, des formations superficielles tranchent sur la topographie et évoquent d'anciennes haldes. Cette impression a été confirmée par la découverte, à leur base, d'un bloc éluvionnaire bien minéralisé en galène fine et chalcopryrite, dans une gangue de quartz. A la traversée du ruisseau de Mondane, sur le chemin de Saint-Jean, se trouvaient de petits blocs de quartz rouge minéralisé en galène.

Compte tenu de la faille qui, à partir de la Traverse, longe le ruisseau, faille dont le rejet n'est pas connu, le quartier étudié ici pourrait représenter le prolongement Ouest des Arabes.

H.- L a T r a v e r s e

D'anciens travaux sont signalés à la Traverse et un procès-verbal de visite daté de 1882, trouvé au Service des mines de Grenoble, mentionne :

Dans un filon de direction N.80 W., dont le pendage est de 45° N., ont été tracées deux galeries superposées de 25 à

40 m de profondeur, reliées par deux descenderies et un puits. On y exploitait une galène argentifère dans une gangue de quartz ferrugineux.

- Observations récentes

Un peu au-dessus du chemin qui, de la Traverse, se dirige vers le S.W., se trouve une galerie d'une quarantaine de mètres ouverte en direction sur un filon E.W. à pendage Nord. C'est un filon amygdalaire dont les amygdales se relayent, séparées entre elles par des zones broyées et mylonitisées, accompagnées d'altération argileuse de la roche encaissante : fil conducteur pour suivre le filon.

Le quartz est rouillé et renferme un peu de pyrite. Des géodes sont remplies de terres rouges et de terres noires dans lesquelles subsistent des cristaux de blende et de galène.

Sur le chemin même peut être observé l'affleurement d'un filon orienté à 80° dont le pendage est de 80° Sud. La roche encaissante est un micaschiste à grenats.

Les deux épontes sont très micacées. Au mur, un filonnet de quartz bleuté, comme celui de la Combe, envoie des diverticules dans les épontes. La masse centrale du quartz est bien cristallisée et s'effrite suivant les joints des cristaux qui sont fortement enchevêtrés. Le quartz est laiteux, avec des inclusions d'oxydes de fer. Au toit, le contact est franc entre le quartz et les micaschistes. Un autre affleurement de quartz, appartenant sans doute au même filon, se trouve sous la dernière maison au S.W. de la Traverse.

- Gangues

La gangue est uniquement constituée par du quartz rougeâtre bréchifié. La minéralisation se place dans les cassures et remplit les vides causés par la bréchification. En général les géodes restent ouvertes ou sont occupées par des limonites ; il arrive pourtant que de beaux cristaux de blende très sombre s'y individualisent, longs de quelques millimètres.

- Minéralisations

1) Blende

Elle ne subsiste qu'en petits cristaux dans les minéraux d'altération.

2) Galène

Fortement altérée dans les rares échantillons recueillis, elle renferme des inclusions de chalcopryrite. A son voisinage, se trouvent souvent de la covelline en grains.

3) Chalcopryrite

Elle subsiste en lambeaux dans des goethites d'altération contenant des grains de covelline qui se réunissent parfois et prennent une apparence de covelline massive.

4) Pyrite

Elle est abondante et très altérée.

Cette étude est trop fragmentaire pour pouvoir en tirer des conclusions. Rappelons l'existence de la source "rouillée" signalée au cours de l'itinéraire n° 1, sur le chemin de la Traverse au Chazeau.

I.- C h e m i n d e B â t o n

Sous ce nom est désigné le filon décrit p. 20, situé près de la combe de l'Aiguille. Cet affleurement était connu mais ne fut jamais étudié. Les minéraux observés n'y avaient pas été signalés.

- Gangues

Le quartz est le minéral dominant, à côté de calcite. Il est possible qu'une partie des terres rouges et noires qui accompagnent les minéralisations proviennent de l'oxydation d'autres carbonates.

- Minéralisation

De la blende translucide, de la galène, de la chalcoppyrite et de la pyrite sont repérables à l'oeil nu.

1) Blende

Lorsqu'elle a été observée en section polie, elle était très altérée.

2) Galène

Elle subsiste en lambeaux très corrodés par les minéraux supergènes et peut renfermer des cristaux de pyrite cassés. La pyrite exceptée elle ne contient pas d'autres inclusions.

3) Chalcoppyrite

Elle se trouve en grandes plages cassées, les cassures étant remplies de goethites. En voie d'altération supergène sur les bordures, elle renferme assez rarement des inclusions de blende. Des fragments de pyrite sont visibles dans un îlot de chalcoppyrite mis en place dans des carbonates.

4) Pyrite

La plupart du temps, la pyrite se présente en cristaux cassés, automorphes, limonitisés sur les bords, le long des cassures ou au centre du cristal ; la pseudomorphose en limonite est parfois complète. Le fait qu'elle se trouve en inclusion dans la galène et la chalcoppyrite montre qu'elle leur est antérieure. Par contre dans d'autres éluvions, manifestement filoniennes, mais sans relation nette avec le filon décrit, existent d'autres cristaux de pyrite en dodécaèdres pentagonaux. La cristallisation de la pyrite a dû se poursuivre sur un assez long intervalle de temps.

- Conclusions

Ici encore il n'est pas possible de tirer des conclusions d'une étude aussi fragmentaire. Les roches encaissantes appartiennent à la série verte et non plus à la série brune. La faille où se trouve cet affleurement se prolonge jusqu'aux Chalanches. Le problème d'une liaison

éventuelle entre les minéralisations des Chalanches et celles de la vallée se trouve posé.

A 600 m d'altitude au-dessus de cet affleurement, sur le chemin de Chabottes se trouve une ancienne galerie effondrée sur laquelle on ne trouve aucun renseignement. Dans ses haldes, riches en brèches à carbonates, aucune autre trace de minéralisation n'est visible que la pyrite.

II.- ANALYSES SPECTRALES QUALITATIVES

Afin de préciser, dans la mesure du possible, par des études fines les observations rapportées dans l'étude des gisements, j'ai effectué, au service de Spectrographie du C.R.P.G. de Vandoeuvre des analyses qualitatives sur différents minerais. Sur 8 analyses, 7 portent sur des minéraux du B.P.G.C., c'est pourquoi leurs résultats figurent ici.

- Préparation des échantillons

Les différents minéraux furent d'abord triés manuellement puis séparés sous la loupe binoculaire. Chaque espèce était pulvérisée dans un mortier d'agate, et mélangée ensuite à du carbone. La préparation était séchée à l'étuve.

Le cratère d'une électrode était bourré avec la poudre jusqu'à environ un millimètre du bord. Le bourrage était terminé avec du carbone pur pour éviter la décrépitation.

- Conditions d'excitation

Le spectrographe utilisé était un Jobin Yvon avec la source universelle Durr. Après quelques tâtonnements, les conditions opératoires suivantes furent déterminées : temps d'excitation 2 x 40" sous une intensité de 9 ampères, ceci afin de limiter au maximum les projections. Les spectres recueillis sur plaque photographique étaient comparés avec les spectres étalons des éléments recherchés.

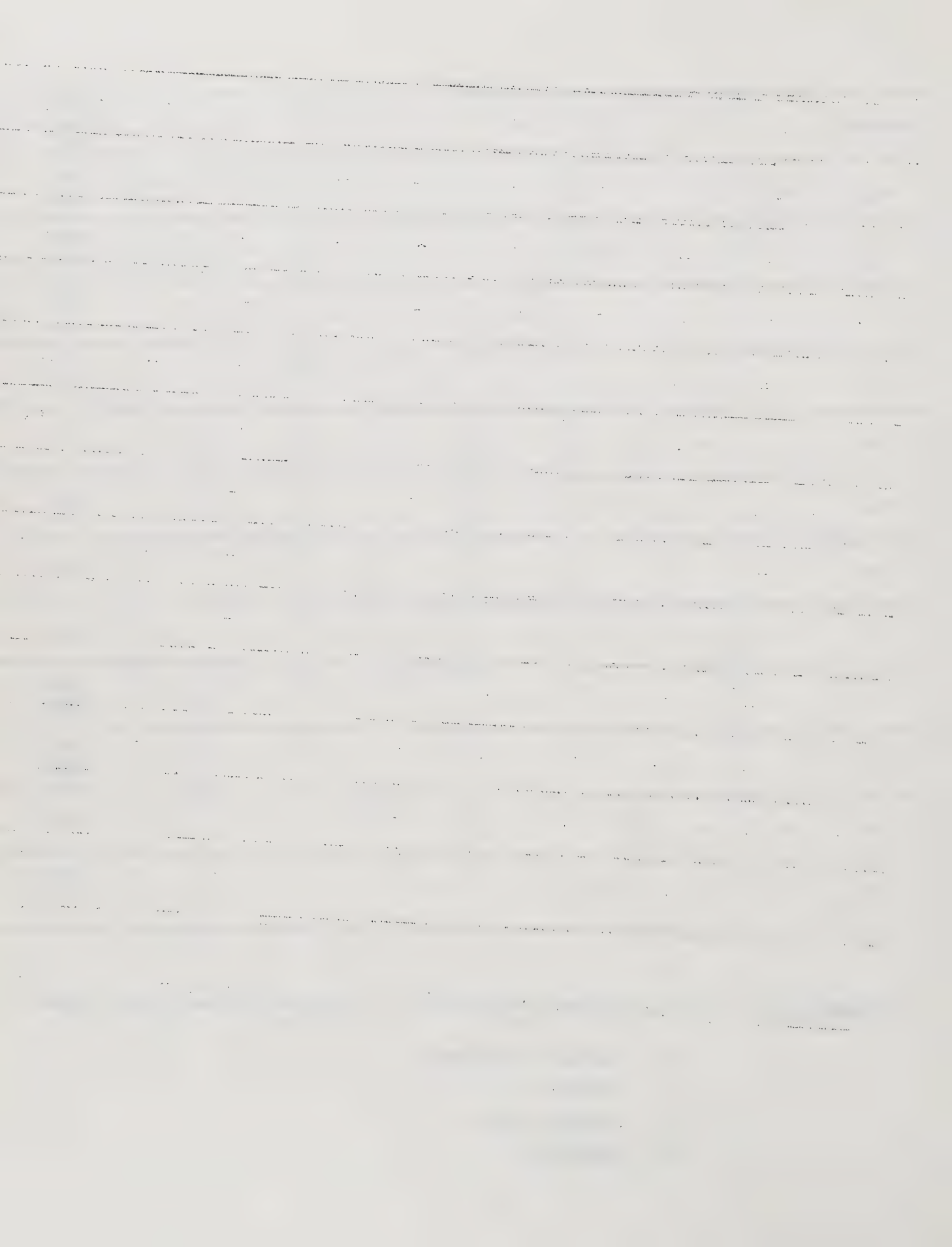
- Résultats des analyses

Ils sont récapitulés dans le tableau de la page suivante.

Elément	1	2	3	4	5	6	7	8	raie observée en Å
Ag	++	++	+	+++	+++	++	++	++	3280 3380
Au	-	-	-	-	-	-	-	-	2427 2875
Bi	-	-	-	+++	-	-	++	+	2897 2938
As	-	-	-	-	++	-	-	-	2344
Co	+	++	-	-	+	+	-	-	3453
In	-	?	?	?	-	-	-	-	3256
Ga	-	-	-	-	-	-	-	-	2943
Ge	-	-	-	-	-	-	-	-	3039
Sb	-	-	-	++	++	-	+	+	2528 2598
Tl	-	-	?	-	?	-	-	-	2918 4511
Sn	-	++	-	++	-	-	+	-	2839
Cd	++	++	++	+	++	++	+	-	3261 3403

Tableau n° 6.— Analyse spectrale qualitative de quelques minéraux métalliques.

? présence douteuse
+ traces
++ grosses traces
+++ abondant



- 1- L'Ecuelle ; Blende brune.
- 2- La Combe ; Blende brune.
- 3- La Traverse ; Blende d'une géode.
- 4- La Combe ; Galène.
- 5- Clos Chevalier ; Blende et pyrite.
- 6- Chemin de Bâton ; Blende translucide.
- 7- Les Arabes ; Galène.
- 8- Chemin de Bâton ; Galène.

Pour un élément donné, on peut, en première approximation, considérer l'intensité des raies observées comme proportionnelle à la quantité de l'élément. La notation des résultats est subjective, mais plus que le dosage, c'est la présence ou l'absence d'un élément caractéristique qui importe.

Argent : Il est présent dans la blende aussi bien que dans la galène ; sa présence dans la blende vient vraisemblablement d'inclusions de cuivres gris pour (5).

Bismuth : Les échantillons de galène contiennent cet élément. Seul Bastin (1939) avait mentionné sa présence dans la Concession des Chalanches.

Arsenic : Sa présence est normale puisque la pyrite est en quantité notoire dans l'échantillon.

Cobalt : La pyrite de l'échantillon (5) explique sa présence. La blende de la Traverse n'en renferme pas, alors qu'il semble beaucoup plus abondant à la Combe.

Indium : L'imprécision de la méthode employée empêche de conclure.

Gallium : Résultats négatifs.

Germanium : Résultats négatifs, comme il fallait s'y attendre, aucun des minéraux observés ne fait penser à une paragenèse catathernale.

Antimoine : Il existe dans tous les échantillons de galène. Sa présence est plus étonnante dans 5, peut-être en relation avec des inclusions de cuivres gris.

Thallium : Douteux dans la blende de la Combe et dans celle de Clos Chevalier.

Etain : La blende et la galène de la Combe en renferment. Il se trouve aussi à l'état de traces dans la galène des Arabes.

Cadmium : Présent dans toutes les blendes, l'intensité de ses raies est assez constante.

Or : Résultats négatifs, méthode utilisée sensible jusqu'à 10 ppm seulement.

- Conclusions

Des éléments intéressants peuvent être dégagés de ces quelques résultats :

1) Problème des fortes teneurs en argent

Les minéraux contenant ce métal sont rarement observables. Le Bismuth est présent dans tous les échantillons de galène analysés. La présence de schapbachite en solution solide dans la galène peut être envisagée ; ainsi s'explique l'absence de minéraux d'argent, même dans les échantillons où la teneur en argent à la tonne de plomb est incompatible avec l'absence de minéraux individualisés. Il convient malgré tout d'être très prudent en ce qui concerne les analyses n° 1, 2 et 5 des Arabes (p. 77).

C'est dans la galène de la Combe que l'intensité des raies du bismuth est la plus forte, alors qu'elle est faible dans la galène du chemin de Bâton.

2) Les teneurs en cobalt

Il existe dans toutes les blendes, sauf dans celle de la Traverse. C'est dans l'échantillon provenant de la Combe qu'il est le plus abondant.

En première approximation, deux générations de galène existent sans doute comme le laisse supposer la différence des "teneurs" en Bi à la Combe et sur le Chemin de Bâton.

La présence de cobalt et d'étain dans les blendes conduit à penser que leur mise en place a eu lieu dans des conditions de température mésothermales.

Les blendes de la Traverse et du chemin de Bâton appartiennent

vraisemblablement à une autre génération correspondant à des conditions de mise en place moins profondes.

C O N C L U S I O N S

A.- D i s p o s i t i o n d e s g i s e m e n t s

La planche N°II montre que les directions des filons qui firent l'objet d'exploitation ou de recherches se disposent suivant deux ensembles principaux :

Direction N.NE.S.SW à N.E. - S.W. Le pendage de ces filons est N.W. Ils dessinent un alignement qui, partant du Villaret, passe par la Combe et réapparaît à la Fare, avec un décalage dû vraisemblablement à la faille du ruisseau de Mondane. Entre la Combe et la Traverse, les affleurements sont malheureusement masqués par des formations glaciaires. La découverte, dans le ruisseau de Mondane, d'un bloc de quartz à galène et celle, en-dessous de la Traverse, d'un bloc éluvionnaire bien minéralisé permettent d'envisager une plus grande continuité de cet ensemble. Cette continuité, si elle existe, est à l'échelle du gisement, les zones filoniennes étant fortement affectées par des accidents tectoniques.

Il faut rattacher à cet ensemble le filon n° 5 du Mollard et mentionner les filons de l'affleurement du grand ravin, signalés par P. Evrard mais non repérés. Certains filons des Arabes (4, 5 et 6), de même orientation, occupent une position aberrante car ils sont décalés au S.E. de l'alignement des autres filons. Un décrochement d'origine tectonique pourrait fort bien l'expliquer, déplaçant en bloc cet ensemble filonien dont la reconnaissance n'est pas, somme toute, poussée très loin en profondeur. Rappelons-nous que les anciens travaux ont rencontré, au Villaret et aux Arabes, des failles orientées N.E.-S.W. qui interrompaient les filons minéralisés.

La direction générale de cet ensemble filonien correspond assez bien aux directions de décollement des couches lors d'une phase orogénique

ancienne. La direction N.E.-S.W. des failles représente une phase tectonique plus récente ; elle est localement accompagnée par la mise en place de quartz stérile.

Direction N.W. à N.N.W. Les pendages sont N.E. pour les filons n° 1, 2, 3 et 4 du Mollard et le n° 1 des Arabes ; S.W. pour les filons n° 4, 5, 9 et 10 du Villaret. Au Mollard, cet ensemble affleure sur le bord de l'Eau d'Olle et ne se prolonge pas en rive gauche. Par contre, cette direction correspond assez bien à celle des filons reconnus à l'Articol, en rive gauche du ruisseau du Mollard (filons qui sont hors des limites de cette étude).

Autres directions : certains filons sont orientés N.S. : le n° 9 du Villaret et le n° 2 des Arabes,

d'autres ont une direction E.W. ; le filon de la Traverse et le n° 3 des Arabes.

Ces directions doivent être considérées à l'échelle de la concession des Chalanches ; dans le détail elles sont beaucoup plus compliquées comme le montre l'exploration de quelques travaux souterrains u Mollard et surtout aux Arabes. De plus, à l'époque de l'exploitation, nul ne s'est particulièrement préoccupé de la tectonique de détail des zones où se trouvaient les chantiers.

Au cas où se poursuivrait l'exploration de ces gisements, il convient de retenir les deux grandes directions N.NE à N.E. et N.NW. à N.W. et l'hypothèse d'une continuité des zones minéralisées, au-delà des complications dues à la tectonique de détail.

B.- C a r a c t è r e s d e s g a n g u e s

Il semble y avoir deux "venues" principales différentes :

- l'une accompagnée d'une bréchification de la roche encaissante avec cimentation par les carbonates surtout, plus tard plus ou moins oxydés : Mollard n° 1, 2 et 5 - Grand Bois.

- l'autre à quartz dominant comme minéral de gangue : Les Arabes, le Mollard n° 4, La Fare, Champeau.

La distinction est parfois difficile à établir ; c'est ainsi qu'à la Combe se trouvent des fragments bréchiques recimentés par du quartz. Toutes ces gangues ont été fortement affectées par les phénomènes tectoniques. Aux Arabes, le quartz et la minéralisation qu'il renfermait sont réduits à l'état de sables limoniteux par suite d'un écrasement intense. Par contre, dans d'autres zones du même quartier, la minéralisation s'est mise en place dans du quartz plus ou moins carrié.

Le rubannement de la roche encaissante, les stries de glissement aux épontes sont la règle générale. La mise en évidence des différentes paragenèses est liée à la connaissance des relations entre les gangues et les minéralisations.

C.- Caractères des minéralisations

Il existe une nette différence entre les minéralisations observées et celles signalées antérieurement.

Le cuivre gris, la Jamesonite signalés par P. Evrard n'ont pas été repérés. Par contre, la pyrrhotine et l'or natif, la cubanite dans la chalcopryrite n'avaient jamais été mentionnés. Il convient de faire des réserves en ce qui concerne le caractère aurifère de certaines blendes (E. Gueymard, 1842) et sur la présence de platine dans les minéralisations d'Allemont relevée par le même auteur. La présence du bismuth a été vérifiée par l'analyse spectrale ; ainsi, à côté des minéraux d'argent : argyrose et non acanthite, inclusions non déterminées, peut-être de la famille des cuivres gris (présence d'antimoine), il n'est pas interdit de penser que l'argent se trouve surtout en solution solide dans la galène, sous forme de schapbachite. Il peut aussi être contenu dans la chalcopryrite, mais aucune analyse pour traces n'ayant été faite sur ce minéral, il n'est pas possible de se prononcer sur cette éventualité.

Les caractères des associations minérales trouvées dans ces mines permettent de tenter la séparation des différentes paragénèses.

La pyrite semble, pour une part, antérieure à la mise en place des minéralisations principales et, pour une autre part, recristalliser bien après les minéraux métallifères proprement dits. Que sa mise en place soit échelonnée dans le temps n'a rien de surprenant : elle peut être syngénétique, se développer au cours du métamorphisme général, être un produit filonien. D'ailleurs, son remplacement par la pyrrhotine, à la Mine du Grand Bois, semble bien illustrer la complexité de sa mise en place.

Les autres minéraux se sont mis en place sans doute à la même époque, ainsi que le prouve leur étroite association. Cela n'exclut pas plusieurs phases minéralisatrices et toute une gamme de recristallisations que suggère l'étude des traces faite au spectrographe. Déjà à l'examen microscopique, les chalcopyrites révèlent des différences notables dans les inclusions : présence d'"étoiles" de blende et pyrrhotine dans certaines ou bien absence totale d'inclusions.

L'étude spectrale prouve que la recherche des traces dans des minéraux bien repérés et soigneusement triés permettra de faire progresser la connaissance de ces gisements.

Le terme B.P.G.C. sera gardé pour caractériser les minéralisations de ces gisements puisque le caractère ubiquiste de la pyrite est établi.

La liaison entre la mise en place des minéralisations et l'orientation des cassures qui les renferment n'apparaît pas clairement par suite du manque d'étude systématique lors de l'exploitation. Un remplissage différent des cassures, selon leurs différentes orientations, peut être envisagé comme tendrait à le prouver l'observation du quartier du Mollard. Il est malheureusement impossible de conclure actuellement. Retenons simplement que la mise en place de la minéralisation est liée à la tectonique comme le montrent :

- le caractère de remplissage d'une brèche par la minéralisation.
- le parallélisme (l'Ecuelle) entre les filonets minéralisés et les épontes soulignées par des stries de glissement.

Le fait que les zones broyées du quartier des Arabes voient leur minéralisation complètement altérée, permet d'affirmer que la mise en place était commencée avant la fin des mouvements tectoniques.

A noter encore l'absence complète, dans les échantillons observés, de minéraux caractéristiques des paragénèses de cémentation. Si de telles paragénèses existaient, il conviendrait de les chercher au niveau de l'Eau d'Olle.

D. -- Mode de gisement

Certains caractères du mode de gisement ont déjà été dégagés précédemment :

Les gisements sont indépendants de la roche encaissante

Les variations de composition lithologique des roches encaissantes ne semblent pas influencer de façon notable la nature des minéralisations. Mises en place dans des zones mylonitisées (le Mollard), près de zones migmatisées (la Combe), dans des gneiss rétro-morphosés (les Arabes), dans les amphibolites (chemin de Bâton), les minéralisations sont semblables d'un quartier à l'autre ; seules les proportions des différents minerais constitutants varient.

Les gisements se sont mis en place pendant une phase tectonique

Interrompus par des failles plus récentes (les Arabes, le Villaret) contenant parfois un remplissage de quartz blanc stérile, ils sont antérieurs à la fin de la phase tectonique.

Les gisements ont un net caractère filonien

Ils sont en liaison avec des cassures qui sont soit de simples fractures (Mollard n° 4), soit le résultat d'un remplissage de zones de décollement des couches, d'où les variations de détail dans leurs directions et pendages. Toutes les transitions sont possibles.

Les poches minéralisées riches sont la règle générale

Peu importantes en volume elles résultent soit d'un croisement de filons, soit du grand développement d'un amas dans les filons lenticulaires.

Les phénomènes de métasomatose et de remplacement de la gangue par les minerais semblent assez limités

La mise en place de la minéralisation s'est surtout effectuée par le remplissage de vides créés lors de la bréchification du quartz et des épontes.

- Profondeur des minéralisations

Les travaux souterrains paraissent peu profonds. Cependant, l'examen de la structure de la série brune dans laquelle ils sont principalement encaissés permet de se rendre compte que les minéralisations se retrouvent, semblables à elles-mêmes, depuis le contact avec le granite des Rissieux (le Mollard) jusqu'aux micaschistes à grenats (l'Ecuelle, la Traverse). Ce fait permet de leur attribuer une profondeur probable de près de 1000 mètres.

E.- Classification des gîtes

La chalcoppyrite renferme :

- de la cubanite?en exsolution
- des étoiles de blende, indépendantes des lamelles de macle
- des inclusions de pyrrhotine.

La blende est riche en fer et contient des inclusions de chalcoppyrite et de pyrrhotine ; l'analyse spectrale a permis d'y observer les raies caractéristiques du cobalt et, plus rarement, de l'étain.

La pyrrhotine massive est localement abondante, fortement magnétique.

Si la nature des minéralisations, leurs caractères géochimiques et leur mode de mise en place permettent de classer ces gisements parmi les B.P.G.C. hydrothermaux à caractère de profondeur mésothermal, la composition de la paragenèse principale n'est pas sans rappeler celle de Falun et surtout Skelleftea. La différence essentielle réside dans l'environnement pétrographique qui n'est pas du tout ici du type "fahlband" ; la différence est encore accentuée par la nature de la gangue (quartz au lieu de skarn) et par le mode de gisement uniquement filonien.

LES GISEMENTS A NICKEL ,
COBALT , ARGENT .

LES CHALANCHES .

I.- HISTOIRE DES IDEES CONCERNANT LES CHALANCHES .

La période d'exploitation intensive, menée par J. Schreiber (XVIIIème siècle), a marqué profondément les idées ultérieurement émises sur l'origine et la nature du gisement des Chalanches. Ses recherches, conduites avec une rare maîtrise lui permirent, grâce à la seule exploitation de l'argent, de faire de ce gîte une affaire rentable. Cependant, il n'arriva jamais à établir une loi qui aurait présidé à la répartition des minéralisations argentifères et ses convictions pro-wernériennes le conduisaient à penser que la minéralisation ne pouvait s'étendre loin en profondeur. De plus, à l'époque, les autres métaux, cobalt et nickel en particulier, n'intéressaient pas l'industrie et il ne rechercha aucune corrélation entre leurs teneurs.

Dans le Journal de Physique (op. cit., 1 798) est rapportée une analyse effectuée par J. Schreiber. 100 kg de "Mine d'argent merde d'oie" (minerai qui constitue la partie axiale des filons des Chalanches) qui ont donné : 50 kg de cobalt, 20 kg de mercure coulant. Schreiber considérait ce minerai comme un wad cobaltifère renfermant un mélange plus ou moins altéré des différents minéraux métallifères des Chalanches. Le mercure coulant fut considéré comme une découverte rarissime ; par contre, il faut retenir la possibilité de son existence sous forme de cinabre.

Il est évident que l'analyse de J. Schreiber doit être mise en doute, ne serait-ce qu'en raison de l'énorme teneur en cobalt. Son intérêt réside dans le fait qu'elle souligne l'ignorance où nous sommes en ce qui concerne l'importance relative des différents métaux.

Dès la fin du XVIIIème siècle, de Bournon (1784) oppose, aux théories de Schreiber, une autre hypothèse : la richesse en métaux précieux de la région d'Allemont et de Belledonne en général proviendrait d'importants gisements antérieurs, de cuivre gris surtout ; leur altération aurait produit le départ du cuivre et un enrichissement en argent.

Au milieu du XIXème siècle, le cobalt et le nickel commencent à intéresser l'industrie. E. Graff, Ingénieur des Mines à Grenoble, s'occupe des mines des Chalanches. Il en visita les quartiers encore praticables et exposa ses observations dans un rapport publié dans le Bulletin de Statistiques de l'Isère (1846). Après avoir insisté sur l'irrégularité des minéralisations observées sous forme d'amas ou de filonnets en stockwerk, il note l'existence de 50 filons qu'il a pu reconnaître dans les parties encore visitables. Ces filons peuvent être divisés en 5 formations principales :

- 1 - Filons à ocre argentifère : Direction Nord, pendage Ouest : formation St Léonard.
- 2 - Filons à cobalt, nickel, antimoine, ocre, tous plus ou moins argentifères :
 - a) A direction Est, pendage Nord : St Cosme.
 - b) A direction Nord, pendage Est : Prince Héritaire, Perrin, Maxime. Ils sont plus jeunes que 1, mais il y a peut-être une différence d'âge entre a) et b).
- 3 - Formations de diabases en filons (galerie occidentale de cobalt) ou en couches (galerie de l'Espérance). Les diabases sont traversées par b), leur puissance est de 11,5 toises (environ 23 m). Il est possible qu'elles soient plus anciennes que 1.
- 4 - Filons sauvages : il s'agit de failles remplies de débris de roche encaissante.
- 5 - Fentes plus petites, à même remplissage.

Les formations minéralisées appartiennent donc à un système filonien à deux directions : Direction Nord, pendages Ouest ou Est, Direction Est, pendage Nord.

Les filons, complexes, sont constitués par des "calcaires" et des filons métallifères situés soit au toit (galerie François), soit au mur (deuxième galerie de Sutter), soit dans l'axe (embouchure de la galerie Claude). E. Graff note encore un rubanement des filons et, lorsqu'ils sont suffisamment développés, du toit au mur, il remarque :

- 1 - Quartz
- 2 - CO^3Fe
- 3 - CO^3Ca magnésifère avec Co, Sb
- 4 - Co, Ni, Sb
- 5 - CO^3Ca magnésifère avec Co, Sb
- 6 - CO^3Fe
- 7 - Quartz

Il reconnaît que cet ordre est rarement suivi et que souvent le calcaire a enrobé le minerai, le préservant de l'altération.

A la même époque, en compagnie de de Beust, venu de Freiberg, il visite à nouveau les Chalanches. De Beust rendra hommage à Schreiber, dans un article, pour la précision de ses descriptions, mais mettra en doute l'exactitude de ses convictions "descentionistes". De Beust compare les minéralisations des Chalanches à celles de l'Erzegebirge, Annaberg et Scheidenberg en particulier. Mais ni de Beust, ni E. Graff ne formulent d'hypothèse génétique nouvelle.

Par la suite, les auteurs qui étudièrent les Chalanches (Emile Gueymard, 1831 ; Eugène Gueymard, 1842 ; Ch. Lory, 1860 ; de Launay, 1913), s'appuient tous sur la description de E. Graff. A noter que Ch. Lory (1860), contrairement à ce qu'affirmait E. Graff, signale que la galène, la blende, le cinabre ne sont pas liés uniquement aux calcaires, ce que confirme une observation attentive des minerais.

A. Lacroix (1893, 1913), H. Schneiderhöhn et P. Ramdohr (1931, 1933) se penchent pour leur part sur des problèmes minéralogiques

particuliers posés par la complexité des minéralisations.

A la fin du XIXème siècle, quelques travaux miniers furent entrepris aux Chalanches. Les seuls renseignements qui subsistent sont consignés aux archives du Service des Mines, dans des procès-verbaux de visite des Ingénieurs des Mines. Un procès-verbal daté de 1882 signale : "L'affleurement Est-Ouest d'un filon qui traverse la Combe Verse (Combe de la Vesse) à environ 1 000 m à vol d'oiseau des anciennes mines. Il pourrait s'agir du filon Hercule. Un travers-bancs de direction Nord, foncé dans les gneiss, d'une profondeur de 18 m coupa deux veines qui semblent représenter un seul et même filon rejeté. Son épaisseur réduite était de 0,04 à 0,05 m avec des renflements de 0,30 à 0,40 m. On y a trouvé de la sidérose altérée et des traces de nickéline ; la similitude avec les minerais des Chalanches est notoire.

Ces travaux furent rapidement abandonnés, comme les travaux entrepris dans les autres quartiers de la Concession.

La tentative de 1943 fut conduite à partir de bases théoriques erronées. La distinction entre les gisements à B.P.G.C. du niveau de la vallée et ceux à cobalt, nickel, argent passa inaperçue. Partant d'analogies avec le gisement de Bou Azzer, un travers-bancs fut ouvert en vue de recouper la zone de cémentation. A ma connaissance aucun résultat ne fut obtenu.

II.- ETAT ACTUEL DES ANCIENS TRAVAUX .

La première impression ressentie en se rendant pour la première fois aux Chalanches est une grande déception. Il ne subsiste des anciennes mines que des baraques en ruines, les cônes d'éboulis de deux fenêtres et d'une galerie. Les éboulis naturels sont extrêmement importants, aucun affleurement ne semble en place et, dans les déblais, il n'y a pratiquement pas de minerai.

Une exploration minutieuse permet de se rendre compte que les entrées des galeries encore visibles sont groupées dans deux zones bien définies :

- A l'Est de Clos Chevalier.
- Sur le flanc Sud de la montagne des Pisses.

Ces entrées se trouvent en général à proximité d'une importante bande rouge constituée par des gneiss amphiboliques pyriteux. Interstratifiés dans les Pisses, ils prennent le flanc de la montagne en écharpe ; assez réguliers à l'affleurement, ces niveaux sont extrêmement contournés dans Clos Chevalier, où se remarquent des filons quartzofeldspathiques interstratifiés eux aussi. C'est à Clos Chevalier que la disposition des entrées des galeries est la mieux visible. Elles dessinent deux directions, E.W. et N.S. (fig. n°17, p.102^{bis}). Les filons furent d'abord exploités en surface, il en subsiste des tranchées à épontes fortement pyritisées. En dessous des tranchées, les entrées de galeries étagées sont distantes d'une dizaine de mètres. Il y a deux systèmes de galeries, deux N.S. et deux E.W.

La nature du filon recherché est rarement visible. Une galerie Est-Ouest a été creusée dans l'allongement d'un filon à amiante et calcite dominante, minéralisées à l'affleurement en pyrite seulement.

Un filon grossièrement Nord-Sud à pendage Ouest sub-vertical est constitué par une éponte double de quartz bien cristallisé, isolé



Fig N° 17. — Schéma des exploitations de Clos Chevalier.
Panorama dessiné depuis une fenêtre des Chalanches.

de la caisse filonienne par des argiles. Le filon a une vingtaine de centimètres de puissance. Sa zone axiale est constituée par des terres rouges. Une analyse de cette formation faite par "Minerais et Métaux" (1962) n'a donné que 4 g/T d'argent. Ce filon appartient sans doute aux filons de la formation St-Léonard.

Dans les éboulis situés au-dessus de la cabane en ruine figurée sur la carte au 1/20 000 et sur la figure n° 17, subsistent de gros blocs d'une formation bréchique à éléments calcaires dominants, recimentés par de la calcite d'apparence très pure, en grands cristaux, et riche en épidote. La roche renferme des mouches de chalcopryrite, de blende claire, de galène, quelques petits cristaux de minéraux de cobalt, et sur les diaclasses on aperçoit des placages d'érythrine.

Sur la face Sud de la montagne des Pisses peu de galeries demeurent. Elles sont ouvertes à proximité de la zone pyriteuse. Une tentative d'exploration de l'une d'elles s'est révélée par trop dangereuse. Les observations qui pourraient y être faites ne seraient d'ailleurs que d'une utilité relative, tant à cause de l'ignorance qui est nôtre de la géométrie des filons que de l'altération supergène des minéralisations. Quant à prospecter l'ensemble du flanc Sud de la montagne, c'était une tâche qui ne s'inscrivait pas dans l'optique de ce travail.

Pour trouver des échantillons de minerai, il fallait repérer les halles de la plate-forme de triage. Une partie du sheidage semble avoir été faite dès la sortie du minerai des galeries. Dans ce cas, les "stériles" descendaient directement dans la vallée. Sur la plate-forme du travers-bancs récent, et sous les déblais actuels, d'anciens minerais jugés sans doute inutiles pour la fonte furent découverts. Les brèches à ciment calcaire dominant nettement, renfermant de la sidérose plus ou moins limonotisée, des carbonates variés et des minéraux métallifères.

Dans les éboulis, en-dessous des fenêtres, il est possible de ramasser parfois des échantillons. Ainsi fut trouvé un bloc de brèche de plus de 10 kg, traversé par un filon de skutterudite bien

individualisé, de 5 mm à 2 cm de puissance. Irrégulier, interrompu, il semble remplacer la gangue, et avoir cristallisé en même temps que la brèche se consolidait. Dans ces éboulis, les blocs minéralisés sont rares cependant, les brèches carbonatées sont les plus abondantes, renfermant uniquement de la pyrite et du mispickel.

Les échantillons recueillis sont donc tous constitués par ce que les anciens mineurs considéraient comme stérile. Il conviendra d'en tenir compte lorsque les associations minérales seront étudiées, les échantillons étant dépourvus de représentativité en ce qui concerne les minéralisations argentifères.

III.- STRUCTURE DE LA ZONE DES CHALANCHES .

Fig. n° 18, p. 104-bis...

L'étude technique de la région a permis de mettre en évidence un fait structural important : des accidents tectoniques N.E.-S.W., synclinaux et anticlinaux viennent buter sur un accident E.W., le synclinal dont l'axe correspond à la vallée de la Romanche. Ces terminaisons synclinales et anticlinales, étroitement reserrées, broyées, affectées par une tectonique souple d'abord, cassante ensuite, font de la région de Clos Chevalier, des Pisses et du S.W. de la Grande Roche une zone extrêmement compliquée au point de vue structural. P. Bordet (1963) ⁽¹⁾ décrit ainsi les éléments structuraux qui constituent le Nord de la zone étudiée : le synclinal de série satinée de la Grande Roche a son flanc N.W. qui vient buter contre un anticlinal complexe de série satinée, constituant l'axe Grande Lance d'Allemont - Grand Charnier. Plus à l'Ouest un synclinal de série satinée viendrait s'écraser dans la région du col de la Portette.

(1) Note en préparation ; renseignement obligeamment communiqué par l'auteur.

Les Pisses

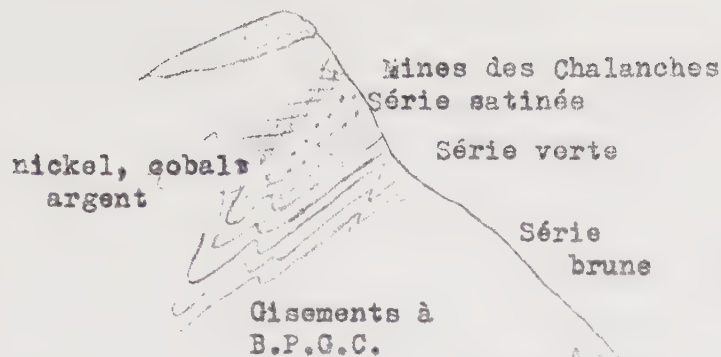
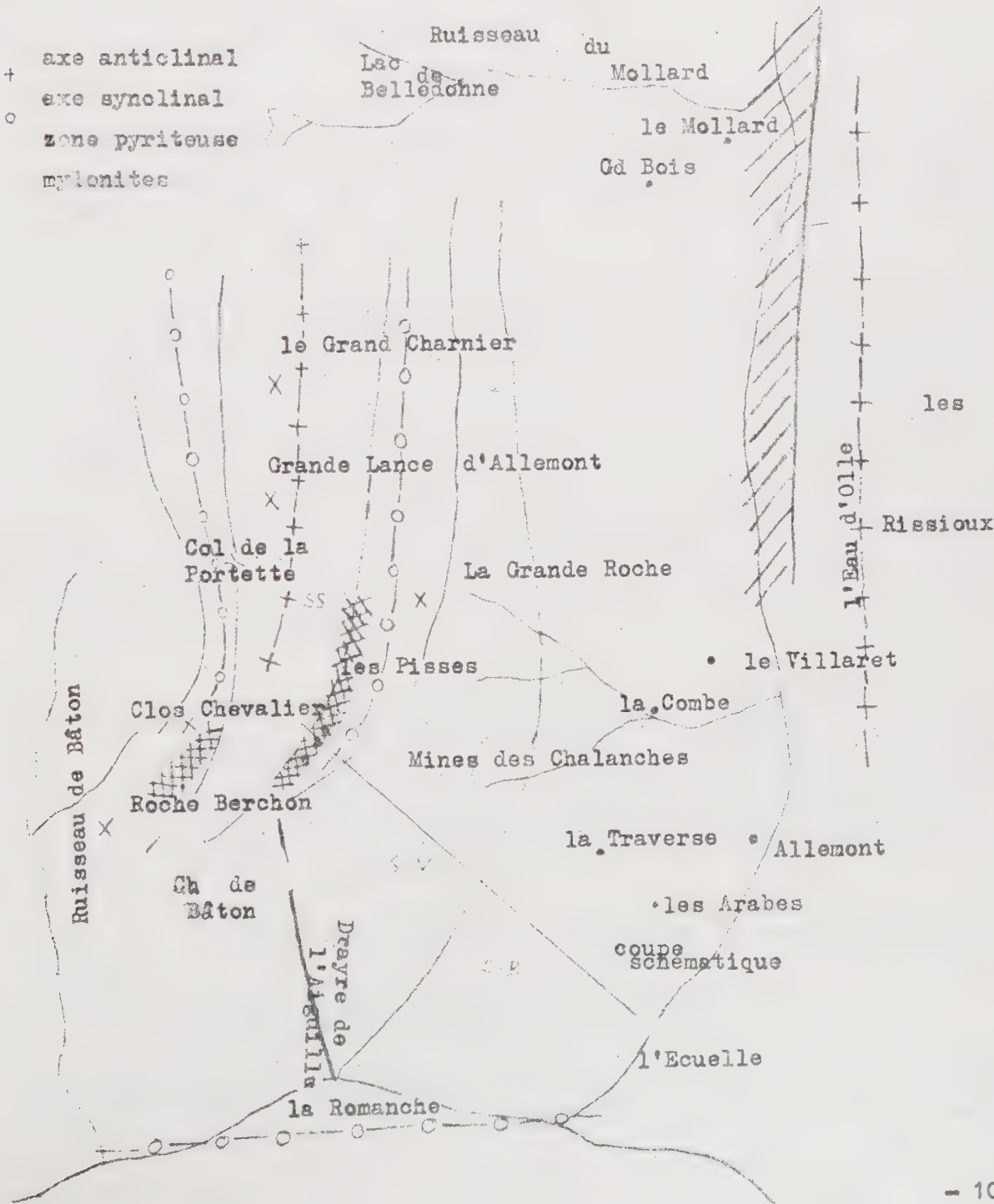


Fig N° 18. Schéma structural de la région d'Allemont, et croquis indiquant l'emplacement des gisements par rapport à l'environnement pétrographique.

Légende

axe anticlinal
axe synclinal
zone pyriteuse
mylonites



La structure des Chalanches est donc déterminée par la rencontre de ces accidents :

Le synclinal de la Grande Roche surmonte un synclinal de série verte, et l'ensemble de ces formations se resserre sur le flanc Sud de la montagne des Pisses. Le flanc N.W. de ce synclinal est laminé et broyé, d'où l'aspect isoclinal des affleurements. Le prolongement de cette zone broyée serait à rechercher sur la face Est de la Grande Lance d'Allemont.

Le synclinal de série satinée qui passe par le col de la Portette viendrait se terminer dans la combe de la Balme, à l'Est de Clos Chevalier, ce qui expliquerait la réapparition des amphibolites près de Clos Chevalier.

La similitude entre les gneiss des Chalanches et les gneiss de la Traverse peut suggérer que localement, la série brune réapparaît au niveau des Chalanches. Il convient d'être prudent en ce qui concerne cet argument qui ne repose que sur l'examen macroscopique et microscopique d'un affleurement très limité.

La position exacte de la série brune sous les formations des séries vertes et satinées constituera un problème important à élucider, tant du point de vue de la géologie théorique qu'en vue d'une reprise éventuelle de l'exploitation des mines.

Remarque : L'importance probable de l'accident de la Drayre de l'Aiguille a déjà été signalée (p. 45). Il est possible d'envisager, sans pouvoir le confirmer actuellement, que cet accident coupe le synclinal de la Grande Roche et que sa terminaison soit rejetée vers le Nord. Dans ce cas, la zone de Clos Chevalier serait l'équivalent exact de la zone des Chalanches.

Une telle structure rend intelligible un certain nombre de faits :

- Localisation des mines des Chalanches :

Un broyage intense de roches d'origine volcanique basiques et acides, la rencontre d'éléments structuraux venant s'écraser les uns

contre les autres en un inextricable complexe, font de la région des Chalanches une zone bien particulière dans la chaîne de Belledonne. Or, c'est à cet endroit que se trouvent les anciennes mines.

Il est facile de comprendre que J. Schreiber, cherchant des filons dans une zone de stockwerk ait passé le plus clair de son temps en travaux de recherches.

- Les filons de "calcaires" :

Il semble que les filons de calcaire signalés par les anciens auteurs n'étaient autres que les formations bréchiques ; nulle part des bancs calcaires interstratifiés au sommet de la série verte ou à la base de la série satinée ne peuvent être repérés. Par contre, en plusieurs endroits, furent trouvées des brèches semblables à celles minéralisées des Chalanches. Ce sont des brèches de ce type qui ont été signalées au chapitre tectonique ; mises en place au cours de l'accentuation des phénomènes de tectonique souple jusqu'à la rupture, des traces de minéralisation peuvent y être observées. La pyrite et la chalcoppyrite y sont présentes, avec nette prédominance de la pyrite. Certains auteurs (Evrard, 1898) signalèrent ces affleurements et indiquèrent les travaux à y faire ; aucune suite ne fut donnée à ces avis.

IV.- ETUDE DES MINERAIS .

A.- Les gangues .

Un tableau résume les connaissances acquises en ce qui concerne les minéraux des gangues des Chalanches. Les travaux de A. Lacroix (1913) faisant le point des connaissances antérieurement acquises, seules sont citées les descriptions de H. de Thury et A. Lacroix.

	H. de Thury (1806)	Lacroix (1913)	Clavel (1963)
Sidérose			+
Calcite	+	+	+
Dolomie	+	+	+
Ankérite		+	+
Diallogite			+
Epidote	+	+	+
Trémolite	+	+	+
Asbeste		+	+
Actinote		+	+
Quartz	+	+	+
Gypse	+	+	+
Baryte	+		

Tableau n° 7 - Minéraux des gangues signalés aux Chalanches par différents auteurs.

Les minéraux des gangues cités ici furent déterminés soit macroscopiquement, avec, parfois, l'aide de tests microchimiques, soit microscopiquement, à l'aide de lames minces taillées dans les échantillons où furent faites les sections polies.

- Carbonates :

La calcite domine ; vient ensuite la sidérose à différents degrés d'altération. Il n'a pas été possible d'observer avec certitude des carbonates de manganèse. Cependant, comme au filon du Mollard n° 1, il n'est pas douteux que toutes les isomorphies possibles existent ici encore. Les ocres et wads constituant la partie axiale, des filons minéralisés se sont formés en partie par l'oxydation de carbonates. La zone axiale du filon N.S. de Clos Chevalier que j'ai rapprochée des formations de St Léonard (p.103) s'est formée suivant ce processus, et

les cristaux de sidérose entièrement pseudomorphosés en limonite sont encore visibles.

Les carbonates peuvent être xénoblastiques, recimenter d'autres minéraux ou être automorphes ; tel est le cas des filons d'asbeste dont ils englobent les fibres.

A côté des sidéroses limonitisées existent des sidéroses en filonnets sécants ; dans ce cas, elles sont remarquablement fraîches.

- Quartz :

Le quartz peut marquer tous les degrés de cataclase. Dans un même échantillon riche en quartz granulé et à nombreuses inclusions de séricite, des filonnets renferment, à l'éponte, du quartz cataclaté, aux inclusions abondantes, et dans l'axe, du quartz parfaitement limpide à caractères optiques normaux. Dans les zones où le quartz est mylonitisé, des plages de séricite représentent les reliques de feldspaths. Dans d'autres zones, le quartz est en grandes plages formées par un agrégat d'individus engrenés, à extinctions onduleuses indépendantes.

- Epidote :

Elle existe soit parmi les minéraux du ciment des brèches, soit dans les roches à amphiboles, comme minéral résultant de l'altération de ce dernier minéral.

- Barytine :

Signalée par H. de Thury (au II) dans un filon à quartz et barytine à la base du houiller de Clos Chevalier, elle fut toujours reconnue comme peu abondante. Dans la Grande Vaudaine affleurent des filons de barytine et oligiste.

- Gypse :

Il n'a pas été observé en lame mince. Une attaque chlorhydrique sur un échantillon minéralisé a libéré du gypse crêté qui était individualisé dans la gangue de calcite.

Tous les minéraux décrits ci-dessus font partie du ciment des brèches. Les fragments de roche encaissante que renferment ces formations sont extrêmement altérées ; leur séricitisation est intense, surtout à proximité des filonnets de quartz sécants. Des lambeaux de chlorites et de séricite sont disséminés parmi les quartz cataclasés et les carbonates. La chloritisation, la silicification et la carbonatation sont la règle générale. Ces phénomènes atteignent parfois une telle intensité que l'examen en lame mince n'est que d'un piètre secours pour la détermination des composants principaux de la roche originelle.

Des observations faites sur la roche à asbeste, où fut ouverte une galerie à Clos Chevalier, permettent de préciser la nature des phénomènes d'altération des roches encaissantes (photo n°4, Pl.III). Macroscopiquement, il s'agit d'une roche compacte recoupée par des filonnets d'asbeste de quelques millimètres à quelques centimètres de puissance. L'asbeste est fibreuse, parfois compacte lorsqu'elle est cimentée par de la calcite.

En lame mince, le fond de la roche apparaît composé de feldspaths séricitisés et de quartz à extinction roulante. Les chlorites, abondantes, sont sur le pourtour des minéraux blancs. Dans les amphiboles vertes de la famille des actinolites, tous les stades de la transformation en asbeste sont observables (photo n°6, Pl.III). Dans les filonnets, les fibres d'asbeste sont perpendiculaires aux épontes ; ils renferment de l'épidote et les différents minéraux sont cimentés par du quartz et de la calcite. De l'asbeste en amas se développe dans le corps de la roche, aux dépens des amphiboles. Les minéraux accessoires sont l'épidote en grandes plages hypidiomorphes, de la zoïsité qui pseudomorphose l'amphibole. Le sphène est très abondant et marque parfois une tendance à s'individualiser en bordure des filonnets d'asbeste. Des cristaux de pyrite automorphe sont disséminés dans la roche. Aucune relation entre les minéraux opaques et les principaux constituants de l'échantillon n'apparaît clairement.

La roche originelle est méconnaissable tant son altération est forte ; peut-être s'agit-il d'un ancien gabbro.

Les gangues sont donc constituées par des brèches dont les éléments originels, appartenant aux formations encaissantes, ont subi

une forte altération hydrothermale qui se traduit par une séricitisation des feldspaths, le développement d'asbeste et de calcite. Ces brèches sont cimentées par de la calcite, du quartz à tous les degrés de cataclase et de l'épidote.

B.- L e s m i n é r a i s .

Deux tableaux font le point des minerais métallifères trouvés aux Chalanches. Ici encore, A. Lacroix (1913) sera seul cité, bien que nombre de minéraux aient déjà été signalés avant lui. Sa nomenclature est la première établie dans une terminologie moderne facilement compréhensible, et il reprend tous les minéraux déterminés antérieurement exceptée la wulfénite signalée par H. de Thury (an II). Dans un tableau figurent les minéraux indiscutablement supergènes et dans l'autre les minéraux qui peuvent être considérés comme hypogènes.

Minéraux hypogènes	Lacroix (1913)	Ramdohr (1933)	Clavel (1963)
Allemontite	+	+	+
Antimoine	+		+
Stibine	+		
Amalgame	+		
Mercure	+		
Cinabre	+		
Argyrose	+		+
Blende	+		+
Chalcopyrite	+		+
Skutterudite (1)	+		+
Cobaltite	+		+
Dyscrasite	+		?
Galène	+		+
Löllingite	+		+
Mispickel	+		+
Nickéline	+		+
Panabase	+		
Pyrite	+		+
Rammelsbergite (2)			+
Safflorite			
Polybasite		+	
Stromeyerite (?)			+
Cubanite (?)			+
Argentopyrite (?)			+

Tableau n° 8 : Minéraux hypogènes cités aux Chalanches, (y compris d'éventuels minéraux de cémentation).

- (1) A. Lacroix citait de la chloantite et de la smaltite. W. Uytendogaardt (1951) les élimine, et, se référant à R.J. Holmes (1947), retient les termes Skutterudites cobaltifères, nickélifères, ferri-fères.
- (2) La mauvaise qualité des échantillons et les moyens mis en oeuvre n'ont pas permis de pousser très loin les distinctions entre les différents composants de certaines espèces minérales comme les safflorites I, II, et III de P. Ramdohr et H. Schneiderhorhn (1893, 1913). En outre, je me suis borné à distinguer certains sulfo-arséniures de fer, nickel, cobalt, de leurs diarséniures et tri-arséniures, en adoptant la terminologie de Uytendogaardt.

<u>Minéraux supergènes</u>	<u>Lacroix (1913)</u>	<u>Clavel (1963)</u>
Kermesite	+	
Valentinite	+	
Cérargyrite	+	
Soufre	+	+
Arsénolite	+	
Cérusite	+	
Malachite	+	+
Anabergite	+	+
Asbolite	+	
Biébérite	+	
Erythrite	+	+
Pyromorphite	+	
Argent	+	
Ocre argentifère	+	+

Tableau n° 9 : Minéraux supergènes signalés aux Chalanches par différents auteurs.

Ces minéraux supergènes ne jouent qu'un rôle très limité dans la métallogénie régionale, mis à part les asbolites et les ocre argentifères, supports des minéralisations principales. Ils ne sont mentionnés ici que pour mémoire.

1 - Pyrite :

Elle est formée de grains automorphes, souvent cassés, plus ou moins altérée, sans transformation en pyrrhotine. Elle constitue souvent le centre de noyaux minéralisés et parfois ne subsiste qu'en reliques à l'intérieur d'un minéral (fig. n° 19, p. 113^{bis}). Elle est en général légèrement anisotrope, ce qui est à mettre en relation avec une légère teneur en arsenic. Dans les zones non filoniennes où elle domine, elle se trouve associée au graphite. Parfois le mispickel la remplace (fig. n° 20, p. 113^{bis}) et souvent en son centre, de fines

paillettes de löllingite semblent s'individualiser à partir de la pyrite (fig. n° 21, p.113^{bis}). H. Schneiderhöhn (1931-1933) signale ce phénomène à Reichenstein. La blende peut remplacer la pyrite en son centre, pénétrant par les cassures et isolant les reliques de pyrite (fig. n° 22, p. 113^{bis}). On note aussi des inclusions de chalcopryrite. La photographie n° 1 , Pl. V , permet d'observer une texture particulière de certaines plages de pyrite. Les sulfoarséniures de fer ont cristallisé autour des minéraux d'altération de la pyrite, au cours de phases alternativement oxydantes et réductrices peu profondes, comme le montre l'absence de pyrrhotine dérivée de la pyrite.

2 - Mispickel :

Très abondant dans bien des sections polies, il se développe en individus automorphes maclés dont le centre est constitué par de la pyrite (voir les fig. n° 19,20,21,22 , p.113^{bis}). Souvent, le mispickel donne l'impression de s'être développé aux dépens de la pyrite : on remarque un net remplacement de bordure, près du contact subsistent des reliques de pyrite. Les macles du mispickel sont très petites et constituées par des individus fortement engrenés.

Dans de nombreux cas, et sans qu'on puisse remarquer une liaison avec d'autres minéraux, l'anisotropie anormalement faible de certains cristaux de mispickel est frappante, même en décroisant les nicols.

Le mispickel est riche en inclusions :

- reliques de pyrite,
- petites inclusions anisotropes, rosées, alignées ; il s'agit de cobaltine.
- de la löllingite,
- de petites inclusions sub-automorphes (fig. n° 20, p.113^{bis}) d'un minéral brun jaunâtre dont le pléochroïsme gris, jaunâtre, brunâtre permet d'observer des lamelles de macle. L'anisotropie est très forte, avec des couleurs très brillantes. Il s'agit sans doute d'un minéral du groupe des argentopyrites.

3 - Löllingite :

Elle est étroitement associée au mispickel et à la pyrite. La détermination est moins sûre en ce qui concerne de petites

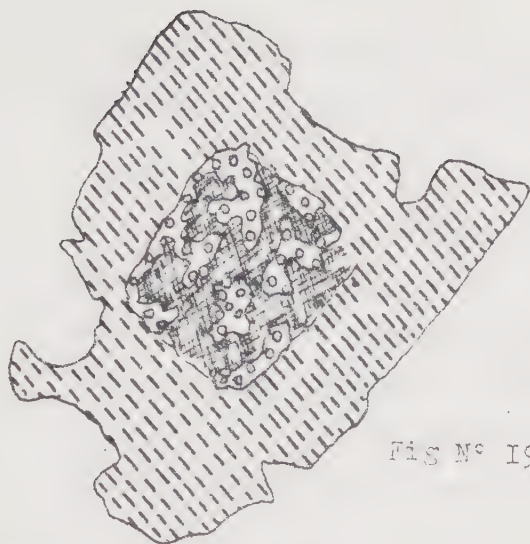


Fig N° 19

Les Chalanches: mispickel englobant un cristal automorphe de pyrite.



Fig N° 20.

Les Chalanches: mispickel renfermant des reliques de pyrite et un minéral dont les caractères optiques sont ceux de l'argyropyrite.

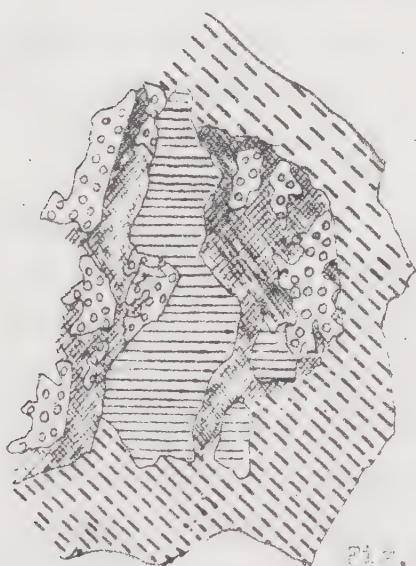
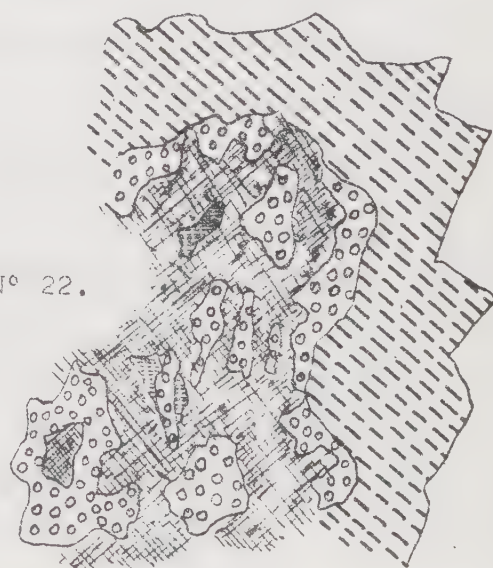


Fig. N° 21.

Les Chalanches: association de pyrite et de löllingite dans du mispickel.

Fig. N° 22.



Les Chalanches: Blende se développant dans des cristaux cassés de pyrite contenus dans du mispickel.



Mispickel



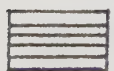
Löllingite



Pyrite



Argyropyrite?



Blende

inclusions disséminées dans la gangue ; dans ce cas la distinction est difficile à établir entre le mispickel et la safflorite.

4 - Cobaltite :

Ce minéral a déjà été cité comme probable en inclusion dans le mispickel. Dans un cas unique la détermination de ce minéral est sûre : il s'agit d'une brèche à carbonates avec des placages d'érythrite. Blonde, galène, chalcopryrite paraissent contemporaines de la consolidation de la brèche, alors que la cobaltine, indépendante des phénomènes secondaires, semble contemporaine de la bréchification.

5 - Skutterudite :

J'ai eu la chance de recueillir de beaux échantillons de ces minéraux dans les haldes des Chalanches.

L'altération superficielle permet d'observer facilement les textures "à la Vauban" (photo n° 2 , Pl. V). Les carbonates ont comblé les vides laissés par l'altération de certains des composants. La skutterudite trouvée en filonnet dans une brèche est plus fraîche et convient parfaitement à l'examen microscopique. En lumière naturelle, avec une forte illumination, les différents constituants sont déjà visibles grâce à leur différence de pouvoir réflecteur et de dureté. Des textures "à la Vauban" et des agrégats ulcérimorphes apparaissent (photo n° 5 , Pl. V). Une attaque par les vapeurs nitriques développe la texture; le pourtour de la plage est constitué par un minéral de couleur rose brun, fortement anisotrope en agrégats à grain fin. Plus à l'intérieur se trouvent du mispickel automorphe et de la löllingite. Ces deux derniers minéraux cristallisent aussi dans des cassures qui recoupent la skutterudite. L'association mispickel, löllingite, skutterudite est assez courante (fig. n° 23, p.114^{bis}).

La skutterudite s'observe aussi :

- Sur le pourtour des cristaux de pyrite (photo n° 4 , Pl. V) :

Dans ce cas il n'y a pas d'auréole réactionnelle entre la pyrite et la skutterudite qui semblent parfaitement indépendantes. La section polie où se trouve cette association est encore une brèche où les noyaux riches en minéraux phylliteux sont cassés à peu près perpendiculairement à leur linéation, avec léger déplacement relatif. Les cassures sont remplies de calcite.

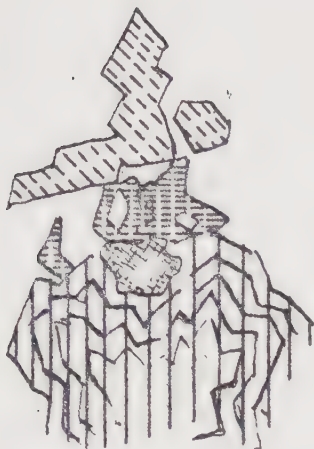


Fig N° 23.

Les Chalanches. Skutterudite associée au mispickel et à la löllingite.

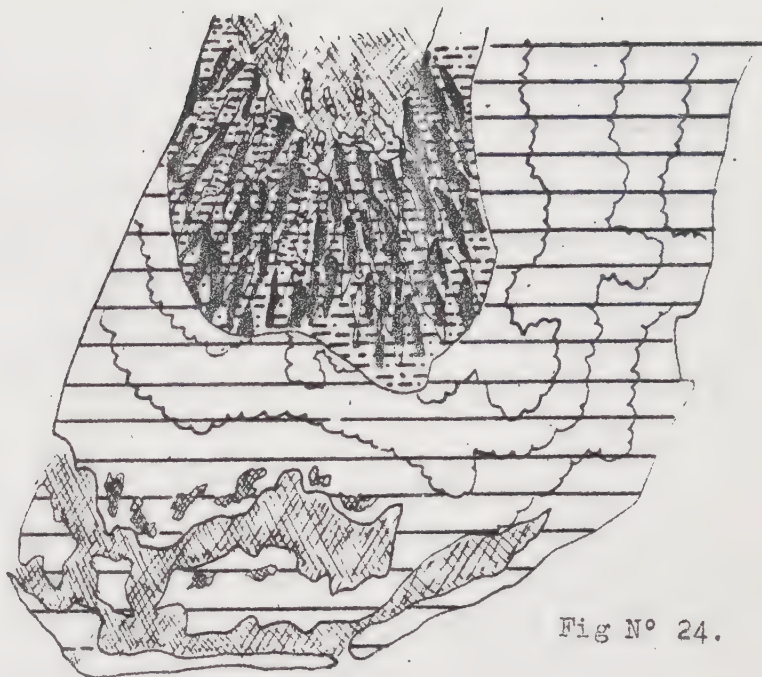


Fig N° 24.

Les Chalanches: skutterudite zonée autour d'une plage contenant nickéline et rammelsbergite.

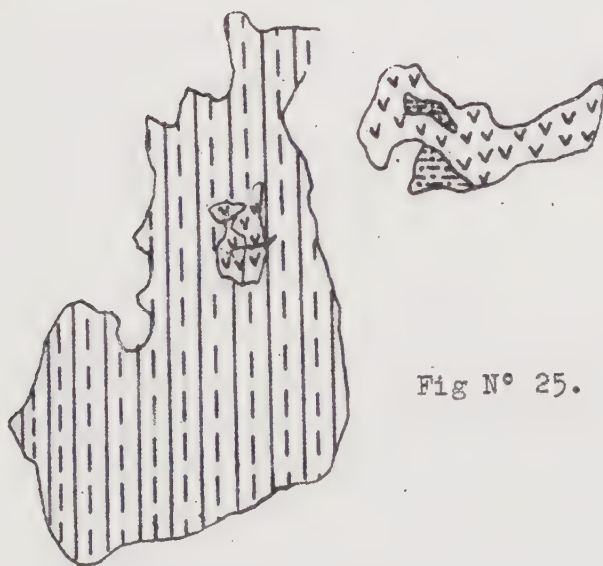
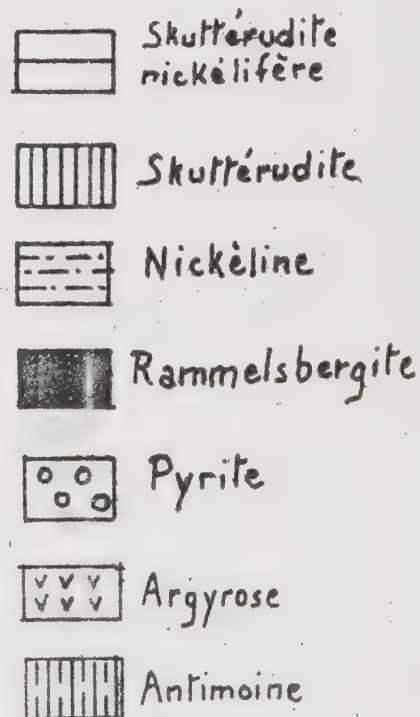


Fig N° 25.

Les Chalanches: Antimoine contenant de l'argyrose et argyrose associée à la nickéline.



- Autour de plages de nickeline (photo n° 3 , Pl. V) - (et fig. n° 24 , p. 114^{bis}) : Etant donnée la relation étroite qui existe entre ces deux minerais, ils seront étudiés ensemble. Cette plage, caractéristique d'une association classique aux Chalanches est unique dans l'échantillonnage recueilli dans les haldes. Elle se trouve dans la section polie où a été signalée l'association pyrite-skutterudite. Ce qui permet de préciser avec quelque vraisemblance qu'il s'agit de skutterudite nickelifère.

La nickeline, étroitement associée à la rammelsbergite, suivant des figures qui pourraient bien être de dissociation (fig. n° 24 , p. 114^{bis}), forme une plage allongée noyée dans la calcite. Lorsque la nickeline a été détruite, il ne subsiste que des grains de rammelsbergite-safflorite. La skutterudite nickelifère (chloantite $Ni As_2$) entoure ces reliques de nickeline rammelsbergite ; elle est constituée de trois composants distincts dont deux apparaissent en lumière naturelle (photo n° 3, Pl. V), disposée en "rim structure".

6 - Safflorite Rammelsbergite :

Ils furent déjà signalés en inclusion dans d'autres minéraux et se trouvent aussi dans une plage riche en pyrite, argyrose et galène. La rammelsbergite, cristaux à contours arrondis, contient des inclusions plus dures, légèrement rosées, fortement anisotropes.

7 - Allemontite :

Il ne m'a pas été possible de trouver de l'allemontite lors de mon échantillonnage, ce qui n'a rien d'étonnant ; cette rareté minéralogique, recueillie par J. Schreiber, fut bien vite dispersée dans les cabinets de collectionneurs et les Musées.

J'ai eu en main une section polie de ce minéral, appartenant à l'E.N.S.G. de Nancy. P. Ramdohr, H. Schneiderhorhn (1931-1933), J. Orcel (1925), G. Kalb (1926) ont décrit en détail cet alliage naturel où l'arsenic se trouve en association graphique dans l'antimoine qui en est le constituant principal. L'arsenic est profondément altéré, et c'est après un polissage soigné qu'a pu être prise la photo n° 6 , Pl. V).

8 - Antimoine :

Une plage isolée d'antimoine natif a été observée dans un échantillon qui renferme de la pyrite, du mispickel, de la blende, de l'argyrose, de la chalcoppyrite.

Le métal est en lamelles maclées à très forte anisotropie ; il contient parfois des inclusions de gangue (fig. n° 25, p.114^{bis}) et se trouve étroitement associé en lamelles ou en cristaux de bordure à l'argyrose. Il est possible que celle-ci ait une origine secondaire.

9 - Blende :

Irrégulièrement disséminée parmi les minéralisations à carbonates, elle peut exister en grandes plages. Souvent de couleur sombre, presque noire, elle présente, dans ce cas, peu de réflexions internes. Des inclusions de pyrrhotine la font comparer aux blendes des gisements à B.P.G.C.

Dans une section polie taillée dans une brèche à ciment de carbonates et épidote, la blende est translucide, mielleuse, et elle ne renferme pas d'inclusions de pyrrhotine. La blende est ici nettement secondaire et contemporaine du remplissage.

Lorsque la blende remplace la pyrite, les reliques de ce dernier minéral sont nombreuses. La blende contient aussi des inclusions de chalcoppyrite et de galène.

10 - Galène :

Toujours à proximité des zones à blende et chalcoppyrite, elle est souvent entourée de minéraux supergènes. Elle cristallise au centre de cristaux de pyrite et, par pénétration le long des zones de cassure, englobe les reliques de pyrite. La figure n° 26 montre, dans la galène, des inclusions d'un minéral légèrement pléochroïque à l'air, davantage dans l'huile, présentant une forte anisotropie et une extinction droite. Il s'agit sans doute de stromcyérite ... En inclusion, la galène renferme de la blende, de la gangue, de la chalcoppyrite ; elle est étroitement associée à l'argyrose qui, en général semble la remplacer.

11 - Chalcoppyrite :

Très souvent lié à la blende et à la galène, elle se trouve aussi en petits cristaux au voisinage des sulfoarséniures

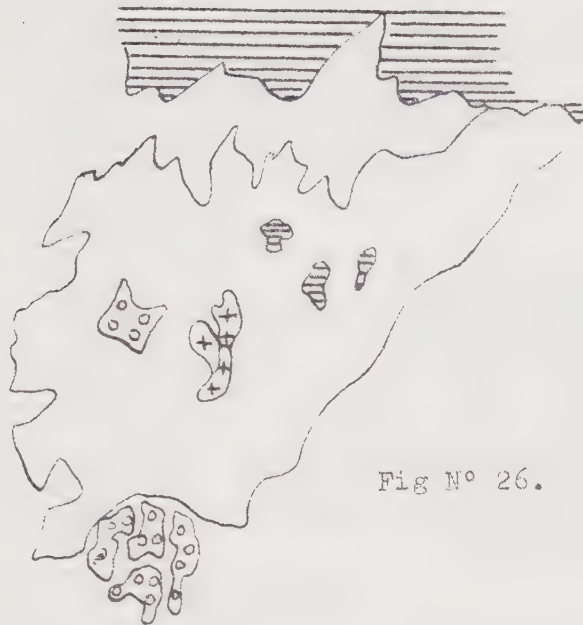


Fig No 26.

Les Chalanches: chalcoppyrite à lamelles de dissociation (cubanite?)
La blende contient des reliques de pyrite, des inclusions de pyrrhotine; de l'argyrose remplace la galène.



Fig No 27.

	Stromeyerite		Blende
	Cubanite?		Galène
	Mispickel		Argyrose
	Löllingite		Pyrrhotine
	Skutterudite		Pyrite
	Chalcoppyrite		

~~Les Chalanches: galène contenant de la pyrite, de la blende et, sans doute de la stromeyerite, Cu₂S, Ag₂S.~~



et arséniures de fer, nickel, cobalt. La chalcoppyrite contient des inclusions de galène, de blende, de pyrrhotine et de cubanite^(?) en lames (fig. n° 27, p. 116^{bis}). Elle est remplacée par l'argyrose.

12 - Argyrose :

De loin le minéral d'argent le plus abondant dans les sections polies étudiées, son anisotropie très faible ou même absente permet d'éliminer l'acanthite comme forme cristalline de l'argyrose. Associée à l'antimoine, en inclusions dans la rammelsbergite ou remplaçant la galène, la chalcoppyrite, elle semble rarement secondaire. Parfois, on la trouve en plages disséminées dans la gangue carbonatée.

13 - Argentopyrite :

Seront désignées sous ce nom de petites inclusions, en lamelles dans le mispickel ou en plages à bords lobés dans les skutterudites. Leur couleur est jaunâtre, un net pléochroïsme les fait virer au brun. Leur anisotropie est très forte et il n'y a pas de réflexions internes. Les données permettant une détermination plus précise sont rares dans la littérature et le manque de section polie de référence m'obligent à considérer comme douteuse cette détermination.

14 - Argent :

Bien que non repéré dans les échantillons décrits ici, il constitue le principal minéral exploité. J. Schreiber et, après lui, E. Graff, signalent que dans certaines terres ocreuses et certaines asbolites, les teneurs en argent étaient fortes bien que le métal y demeurât invisible. L'argent natif fut signalé dans les carbonates des gangues.

C.- A s s o c i a t i o n s m i n é r a l e s e t p a r a g é n è s e s :

L'étude des minéraux observés au cours de ce travail, confrontée avec les recherches faites antérieurement sur des minéraux provenant des Chalanches, va permettre la mise en évidence d'un certain nombre de faits importants.

La pyrite semble être, en général, le minéral le plus ancien des Chalanches. Abondante dans les gangues à graphite, elle constitue un repère important sur le terrain. Les travaux anciens rencontraient un net enrichissement des formations métallifères dans ce niveau ; ce phénomène ne semble pas d'une grande étendue. Dans la Grande Roche, les niveaux pyriteux prennent une très grande importance, mais les blocs riches en pyrite et graphite ne semblent pas renfermer d'autres minéraux métalliques.

Les sulfoarséniures et arséniures de fer, nickel et cobalt englobent la plupart du temps la pyrite. A ces minéraux où dominent le soufre et l'arsenic n'est associée qu'une faible proportion d'antimoine ; il n'a pas été observé de breithauptite (Ni Sb) ou d'ulmanite Ni Sb S (Co, Fe). P. Ramdohr signale la nickeline en association avec la breithauptite. Ceci est peut-être à mettre en relation avec la teneur en antimoine d'une nickeline dont l'analyse est citée par A. Lacroix. Ce dernier pense que la nickeline des Chalanches est un terme de passage vers l'arite. Sa composition est la suivante :

As	48,8	Analyse d'une nickéline des Chalanches (<u>in</u> Lacroix, 1913)
Sb	8	
S	2	
Ni	39,94	
Co	0,16	
Fe	tr	
Total	98,90	

Tableau n° 10.

L'association de l'antimoine aux minéraux de nickel et de cobalt ne semble pas être le cas général, et le soufre et l'arsenic sont les minéralisateurs qui dominent.

Les minéraux d'argent signalés sont : l'argyrose, Ag_2S , la pyrargyrite, $3\text{Ag}_2\text{S}$, Sb_2S_3 , la polybasite $8(\text{AgCu})_2\text{S}(\text{SbAs})_2\text{S}_3$ (P. Ramdohr), la stromeyérite, Cu_2S , Ag_2S , le dyscrase Ag_3Sb et la cérargyrite, minéral supergène.

Il y a peu d'arsenic dans les minéralisations argentifères. A. Lacroix s'étonne de trouver de la pyrargyrite parmi les minéraux riches en argent, et pas de proustite. Cette anomalie apparente s'explique en admettant que les minéralisations riches en antimoine, marquées par l'apparition d'antimoine natif accompagné d'un peu d'arsenic (Allemontite) et de soufre (stibine), ne sont pas contemporaines des minéralisations arséniées et sulfoarséniées. Lors des descriptions de sections polies, l'argyrose est apparue en général étroitement associée à l'antimoine et aux minéraux du B.P.G.C., et beaucoup plus rarement à des minéraux sulfoarséniés.

L'association mercure, cinabre, amalgame, existait aux Chalanches. Son extension est inconnue. Il est très difficile de se prononcer sur ses rapports avec les autres minéralisations, et seuls des arguments géochimiques et génétiques permettront de replacer ultérieurement cette association dans un cadre logique.

Les minéralisations de type blende, galène, chalcoppyrite sont semblables à celles rencontrées lors de l'étude des gisements de la vallée ; il y a de plus, aux Chalanches, dans les gangues qui sont manifestement des minéraux de remaniement des blendes translucides, des galènes sans inclusions, des chalcoppyrites sans pyrrhotine ni cubanita (?).

De ce qui précède, un essai pour grouper avec vraisemblance plusieurs paragénèses est possible. Cette distinction sera fondée d'abord sur la composition chimique des composants et les relations des minéraux entre eux.

- Pyrite :

Pour une bonne part, elle est vraisemblablement contemporaine de la formation des roches encaissantes, et liée à leur écrasement. Il est difficile de l'envisager comme contemporaine de la sédimentation

car dans ce cas, on pourrait s'attendre à une transformation, au moins partielle, en pyrrhotine lors de la transformation des matières organiques en graphite (dans la mesure où le graphite n'est pas d'origine profonde).

- Minéraux arséniés et sulfoarséniés :

Ils se déposent autour de la pyrite qui, entre temps, a subi une forte altération superficielle. Le contact pyrite-sulfoarséniures ou arséniures est souligné par une auréole réactionnelle; la löllingite se développe à l'intérieur des cristaux de pyrite. Le cobalt et le nickel à l'état de sulfoarséniures sont à peu près contemporains du mispickel et de la löllingite.

Bien que les rapports entre ces différents minéraux n'apparaissent pas toujours clairement, il est possible, en raison de leurs caractères chimiques (soufre et arsenic comme anions principaux), d'isoler une paragenèse de minéraux arséniés et sulfoarséniés du fer, du nickel et du cobalt. Subordonné à cette paragenèse, l'antimoine se trouve à l'état de traces, comme anion dans ces minéraux; il n'est cependant pas en quantité suffisante pour que des minéraux antimoniés caractéristiques tels la gorsdorffite, la ulmannite ou la breithauptite se développent en quantité notable.

- Sulfures du groupe B.P.G.C. :

Cette paragenèse présente exactement les mêmes caractères que celle décrite dans les différents quartiers de mines, au niveau de la vallée. L'argyrose y est plus abondante; elle est sans doute, pour une part du moins, primaire par rapport à ce type de minéralisation. La stromeyerite n'a que peu d'importance du point de vue génétique.

Si l'on en croit J. Schreiber, l'or peut être associé à la chalcopyrite.

Cette paragenèse semble à peu près indépendante de la minéralisation arséniée et sulfoarséniée, et comme il y a très peu de relation entre les deux dernières paragenèses, il est difficile d'affirmer leur âge relatif.

Liés à ce groupe de minerais, des phénomènes de remaniement ont abouti à des recristallisations de blende miellouse, de galène et de chalcoppyrite sans inclusions, contemporaines de la cristallisation des ciments de la brèche.

- Antimoine, arsenic, soufre, mercure et argent :

Peu importante par la quantité et l'importance des minéraux déposés, elle a une importance génétique certaine. Les proportions relatives d'antimoine et d'arsenic vont s'inverser, le soufre est peu abondant. Antimoine et arsenic peuvent se trouver à l'état natif (allemontite), sous forme de sulfures (stibine), et combinés à l'argent. A. Lacroix signale des argents rouges dans les formations d'altération hydrothermales du type asbeste, actinote, carbonates.

A côté de ces trois paragenèses, des phénomènes de caractère moins profond, souvent nettement supergènes, ont joué un rôle évident dans la remarquable complication de ce gîte.

Il faut envisager comme phénomène de remaniements superficiels la formation de wads riches en cobalt. Cela n'a rien d'original et il est connu pratiquement dans tous les gisements de cobalt. Un enrichissement ultérieur de ces wads en cobalt, en argent et en éléments divers trouvés aux Chalanches, est facile à envisager en raison des phénomènes d'adsorption dans ces matières plus ou moins pulvérulentes, zones de passage obligatoire pour les circulations enrichies en sels minéraux provenant des minéralisations préexistantes.

L'existence de minéralisations dans les calcites, le quartz, l'épidote, tous minéraux de remaniement, est aussi une preuve de l'activité des eaux météoriques. Il n'est pas besoin de faire appel à des solutions juvéniles pour expliquer le dépôt de calcite autour de concrétions constituées par de la nickéline au centre et de la skutterudite à la périphérie. Il faut citer aussi l'effet précipitant des minéraux arséniés et sulfoarséniés sur les sels d'argent particulièrement mobiles en solution. Ch. Palmer (1913) a établi que 1 g de Fe As_3 peut précipiter 4,7 g d'argent. Ch. Palmer et E. Bastin étudièrent l'effet précipitant des skutterudites sur les solutions argentifères (1913).

Ceci montre que l'enrichissement en argent est, pour une bonne partie, lié à des phénomènes superficiels complexes dont il est impossible d'établir l'importance relative aux Chalanches.

Plus généralement, ce qui ressort clairement au terme de cette description des Chalanches est la complexité des phénomènes responsables de la mise en place de l'ensemble des minéralisations.

- C O N C L U S I O N S -

A.- D i s p o s i t i o n d e s g i s e m e n t s .

La figure n° 18, p.104^{bis} met en évidence la rencontre aux Chalanches d'accidents tectoniques majeurs ; un écrasement important des roches correspond justement à la localisation des minerais de cobalt, nickel, argent.

Dans ces mines, il n'existe plus de direction dominante des filons, mais plutôt un ensemble de filonnets en stockwerk dans des roches extrêmement modifiées. Depuis E. Graff, (1846) jusqu'à de Launay (1913), il était admis que les anciens travaux étaient concentrés dans un rectangle de 500 x 600 m de côtés. S'il existe un lien entre les travaux de Clos Chevalier et ceux des Chalanches proprement dites, leur distance est supérieure à la plus grande dimension du rectangle ; si vraiment, comme le remarquait J. Schreiber, la rencontre des filons avec le niveau pyriteux est une région d'enrichissement en minerai, il est possible d'envisager une plus grande extension vers l'Est des minéralisations. De toute façon, les dimensions données concernant la zone minéralisée mériteraient d'être vérifiées.

A retenir comme éléments déterminants dans la localisation des minéralisations : leur nette liaison avec des phénomènes tectoniques et un enrichissement en pyrite qui peut y être subordonné.

B.- Caractères des gangues.

Pour décrire le contexte géologique des Chalanches, A. de Launay cite largement E. Graff. Nous avons vu qu'il n'existe pas de filons calcaires interstratifiés dans les roches cristallophylliciennes, et, de toute façon, leur âge ne saurait être jurassique. Lors de la description des gangues, il a été établi que ce que les anciens appelaient calcaire correspond à ce que nous appelons brèche carbonatée. A côté de la calcite, du quartz, de l'épidote et d'un peu de gypse, je n'ai pas observé la barytine que signalait H. de Thury en 1794. Par contre, l'existence d'un filon d'amiante à l'affleurement est bien vérifiée.

En somme, la nature des gangues décrites vient appuyer la notion importante de contrôle tectonique des minéralisations.

C.- Caractères des minéralisations.

Les Chalanches furent toujours considérées comme le paradis des minéralogistes et, depuis longtemps, la complexité des minéraux métalliques trouvés est connue.

Le peu de représentativité des minerais examinés, et décrits dans ce travail limite sans aucun doute la portée des conclusions qu'il est possible d'en tirer.

Cependant, il a été établi qu'il existe cinq paragénèses différentes :

- 1 - pyrite
- 2 - blende, galène, chalcopryrite, pyrrhotine, argyrose
- 3 - arséniures de cobalt, nickel et fer, à antimoine en faible quantité
- 4 - antimoine, argent, mercure et arsenic subordonné
- 5 - minéralisations à caractère superficiel provenant du remaniement des formations précédentes.

En ce qui concerne 2 et 3, leur ordre de mise en place n'est que très mal élucidé, en raison, justement, de l'échantillonnage dont je disposais.

De même la place des minéralisations argentifères n'apparaît pas clairement.

Enfin, il n'est pas possible de se prononcer actuellement sur la place exacte de l'allemontite.

Après la récapitulation des caractères morphologiques du gisement, leur place dans la classification métallogénique devrait être discutée. Cependant, le fait que la paragenèse à blende, chalcoppyrite, galène, pyrrhotine et argyrose soit en tous points semblable à celle du niveau de la vallée permet de se demander dans quelle mesure ces deux types de gisements ne sont pas liés.

C'est pourquoi, au lieu de tenter d'expliquer la genèse des Chalanches en tant que gisement nettement individualisé par rapport aux autres gîtes, j'envisagerai, au cours d'un essai sur leur origine, de traiter le problème génétique dans son ensemble ; j'essaierai, grâce aux observations accumulées d'établir, si elle existe, une liaison entre ces minéralisations.

Quatrième partie

ESSAI SUR LA GENESE
DES
GISEMENTS DE LA REGION
D'ALLEMONT

COMPARAISON DES DEUX GISEMENTS

	B.P.G.C.	Co, Ni. Ag
Minéraux dominants	pyrite, pyrrhotine, galène, blende, chalcoppyrite, (argyrose), (cuivres gris), (or).	pyrite, pyrrhotine, galène, blende, chalcoppyrite, mispickel, arséniures de fer, nickel, cobalt, asbolane, argyrose, sulfoantimoniures d'argent, allemontite, stibine, cinabre, argent, mercure.
Roches encaissantes	gneiss chloriteux rétro-morphosé, migmalisation locale, faciès embréchitique à micaschisteux.	contact entre des formations à amphiboles appartenant à une série volcanique basique et des tufs kératophyriques d'une série volcanique acide. Localisation contrôlée par des facteurs tectoniques.
Mode de gisement	filons	stockwerk
Mode de remplissage	remplissage de cassures métasomatose limitée aux minerais métalliques et, à un degré moindre, aux épontes bréchifiées.	Métasomatose dominante sur le remplissage.
Gangues	quartz dominant, calcite subordonnée.	carbonates, épidote, quartz (barytine) localement, asbeste.
Altération des épontes	séricite, chlorites, carbonates	séricite, chlorites, carbonates, épidote, zoïsite.

Tableau n° 11 : Tableau comparatif des deux types de gisements de la région d'Allemont

Le tableau synthétique ci-dessus relève les caractères dominants des deux types de gisements décrits précédemment. L'examen de leurs différences et de leurs analogies permettra de les rattacher à des types de gisements définis ; puis en les comparant à des gîtes mieux étudiés, tenter de découvrir le ou les processus de mise en place des minéralisations.

A n a l o g i e s :

- Les minéraux du B.P.G.C. sont les mêmes dans les deux types de gisements.
- La tectonique contrôle étroitement la mise en place des minéralisations.
- L'altération des épontes est la même, compte tenu de la différence de composition lithologique des roches encaissantes.

D i f f é r e n c e s :

- En plus de l'association minérale à B.P.G.C., les Chalanches renforment des minéraux du nickel, du cobalt, de l'argent, de l'antimoine, de l'arsenic et du mercure.
- Le niveau pyriteux exerce une nette influence sur la richesse des filonnets sécants.
- Aux Chalanches, la minéralisation est contenue dans un stockwork. La séparation entre les épontes et les filons est plus difficile en raison de la plus grande importance des phénomènes de métasomatose qui aboutissent à la formation de minéralisations du type inclusions.

A partir de cette comparaison rapide, notons l'analogie entre les gisements d'Allemont et les gisements de type "fahlband" isolés par de Launay.

La paragénoise à blende, galène, chalcopryrite, pyrrhotine s'apparente à celle des gisements de Falun (Grip, 1960), et surtout Skelleftea (Magnusson, 1960), la paragénoise à cobalt, nickel, argent s'apparente à celles signalées au Val d'Anniviers (Huttenlocher, 1934), à Schladming (de Launay, 1913) et, d'une manière générale aux minéralisations des brandes des Alpes Orientales.

Des divergences notables doivent être soulignées, qui limitent la portée de cette comparaison ; si le télescopage des minéralisations est classique dans ces types de gisements, la pyritisation y est d'origine sédimentaire, liée à des niveaux riches en matières organiques.

Aux Chalanches, c'est surtout l'écrasement des roches vertes au cours de l'orogénèse, associé au volcanisme qui est responsable de la pyritisation ; ce qui amène tout naturellement l'idée d'un gisement à influence topominérale (Schneiderhöhn op. cit.) lié à une pyritisation de type exhalatif volcanique.

La comparaison des minéralisations avec les types fahlband et gîtes topominéraux mérite d'être poussée plus avant. Cependant, comme l'hypothèse d'une minéralisation descendante fut la première formulée, elle sera d'abord discutée ; ensuite, le rôle probable joué par l'environnement pétrographique sera examiné à la lumière des idées métallogéniques récentes.

Hypothèse descendante :

Il s'agit là de la seule hypothèse génétique formulée jusqu'à ce jour. Due à J. Schreiber, ardent disciple de Werner, contredite à partir de considérations géométriques par de Beust, elle fut pratiquement abandonnée par la suite. Seul Ch. Lory parla du lessivage des calcaires du Trias. Cette opinion se heurte à certaines objections majeures :

- Le gisement des Chalanches a une extension limitée. Il se trouve dans une formation lithologiquement bien définie dans l'ensemble de la chaîne de Belledonne, mais les minéralisations à cobalt, nickel, argent se trouvent dans une zone tectoniquement caractéristique.

- La pyritisation dans la série verte et au contact série verte-série satinée est connue ailleurs dans Belledonne, bien que moins intense, et aucun enrichissement notable en minéraux métalliques n'est signalé.

- La continuité probable des paragénèses sulfurées est de plus de 1 000 mètres dans la série des roches cristallophylliennes telle qu'elle peut être observée actuellement. Pour accepter cette hypothèse descendante il faut admettre une composition remarquablement constante des solutions descendantes étant donnée la composition minéralogique uniforme de la paragénèse sulfurée, tant à proximité du granite des Rissieux qu'au sommet de la série cristallophyllienne.

- La composition des solutions superficielles est acide, CO₂ étant pratiquement, avec la silice, les seuls minéralisateurs solubles dans des conditions de surface. Le dépôt des solutions métallifères dans le milieu plus acide que représente le niveau pyriteux est assez difficile à envisager, dans des conditions peu profondes du moins.

- La nature extrêmement complexe des minerais des Chalanches s'oppose elle aussi à cette hypothèse.

Les minéraux supergènes étant exclus, il n'en demeure pas moins que la présence de certains minéraux métalliques peut se comprendre par des phénomènes peu profonds et même superficiels ; il s'agit :

- du remplacement de la galène par l'argyrose, de la précipitation de l'argent natif par les arséniures, phénomène mis en évidence par Palmer et Bastin (voir p. 121).

- P.M. Tatarinov (1957) justifie également la concentration superficielle en argent par la formation d'une argento-jarosite fixée sur les limonites pulvérulentes ; cela expliquerait que J.G. Schreiber ait trouvé de fortes teneurs en argent sans que ce métal soit visible.

- les phénomènes descendants peuvent aussi rendre compte de la concentration en cobalt et nickel dans les asbolanes et être à l'origine de certains minéraux de gangue tels les carbonates et des minerais métalliques à caractères particuliers décrits plus haut ; blends translucides, chalcopryrite sans inclusions en particulier.

Il y a donc lieu de retenir l'hypothèse d'une minéralisation descendante comme une source d'enrichissement du gisement, surtout aux Chalanches.

Gisement de type "fahlband".

Les "fahlband", appelées aussi brandes, furent isolées en un groupement particulier par de Launay (1913), plus pour des raisons morphologiques que génétiques. Il les considérait "comme un cas intermédiaire entre les ségrégations périphériques dont manque ici la roche ignée au contact (avec les roches encaissantes) et les filons hydrothermaux dont fait défaut la continuité en profondeur ainsi que la structure concrétionnée". Selon le même auteur leur localisation était surtout dans les vieux massifs consolidés, affectés par le métamorphisme général, plus rarement dans un contexte non métamorphique, mais en relation avec des roches éruptives.

La métallogénie moderne tend à isoler dans ce groupe de gisements les amas pyriteux et les imprégnations diffuses d'une part et les

gisements pyriteux hydrothermaux d'autre part, en retenant essentiellement, parmi les phénomènes responsables de leur mise en place, le métamorphisme et la composition des roches encaissantes. Un caractère fondamental de ces gisements est le télescopage de leurs minéralisations.

Une transition possible s'établit ainsi entre les gisements pyrométasomatiques et les gisements à influence topominérale de H. Schneiderhöhn (1941).

- A partir des éléments structuraux qui définissent les gisements du type "fahlband", une comparaison est possible avec les mines des Chalanches où un net enrichissement en minéraux utiles a été signalé lors de l'exploitation, aux intersections de fractures avec le niveau pyritisé. Les minéraux à cobalt, et nickel sont connus aussi bien en Scandinavie (Adak) qu'en Styrie (Schladming).

- Par contre, la comparaison avec les gisements classiques à argent, nickel, cobalt, amène à rattacher les Chalanches aux gisements de Cobalt ou de Bou Azzer en ce qui concerne la paragenèse principale, et aux "fahlband" en ce qui concerne la localisation géologique. Il convient de faire maintenant le point des dernières acquisitions de la métallogénie moderne en vue de tenter une synthèse qui rende compte à la fois du type de paragenèse et de leur localisation.

Au Congrès Géologique International de Copenhague, E. Grip et H. Magnusson ont mis en évidence la relation qui existe entre la mise en place des minéralisations de Skelleftea et de Falun et les granitos palingénétiques et des phénomènes de granitisation qui les accompagnent. Dans une certaine mesure, ils ont ainsi repris, en les limitant, certaines des conclusions établies par C. Sullivan en 1948.

La similitude de la paragenèse sulfurée de la région d'Allemont avec celles de Falun et de Skelleftea a déjà été signalée plus haut (p. 128). Une différence est cependant à noter : au niveau de la vallée, la pyrite joue un rôle subordonné, alors qu'elle est dominante en Scandinavie dans les gisements cités, et il n'y a pas de minéraux des skarns dans la région étudiée. Pour P. Quesnel et H. Magnusson, les zones de granitisation profondes sont caractérisées par le départ

de certains constituants des roches encaissantes. De cette manière, les minéraux mobilisés et les fluides qui les transportent ne sont plus originaires du seul granite en voie de refroidissement, mais aussi des roches en voie de granitisation, et le fluide minéralisant est plus l'ichor que les composés volatils issus du magma. Le départ de la minéralisation se fait surtout à partir des zones migmatisées où s'enracinent les batholites granitiques.

Il est donc possible de retenir un dépôt des minéralisateurs et des métaux lourds à partir de la zone de granitisation. La relative rareté de la pyrite dans les formations encaissantes de la minéralisation sulfurée est compensée par le fait que les minéralisateurs circulent à peu près librement dans des cassures plus ou moins ouvertes et dans les zones broyées des filons. Dans la caisse filonienne dominant les phénomènes liés à la surface libre à l'intérieur des cassures, alors que dans les brèches d'épentes, ce sont les phénomènes de métasomatose qui sont les plus importants.

Gisements à influence topominérale.

L'influence topominérale des roches encaissantes sur les minéralisateurs semble nette aux Chalanches ; les formations encaissantes joueraient un rôle précipitant dû aux pyrites et au graphite, et un rôle chimique en fournissant des métaux lourds, le cobalt et le nickel en particulier.

Cette hypothèse paraît probable si l'on considère :

- 1°) que le stock de nickel et de cobalt des roches basiques et ultrabasiques est très grand par rapport à celui des roches acides (Goldschmidt 1937 in Rankama et Sahama, 1957).
- 2°) qu'il est admis classiquement que le nickel et le cobalt sont des minéraux typiques d'une différenciation magmatique basique.

3°) que les études géochimiques des auteurs anglo-saxons ont montré que la pyrite peut renfermer des quantités notables de cobalt, de nickel et d'arsenic (Hunt et al., 1955 ; Young, 1957).

Par contre, Schumacher (in Schneiderhöhn, 1941) semble avoir établi que le nickel et le cobalt de l'Erzgebirge était à mettre en relation avec les intrusions granitiques responsables de la mise en place d'autres minéralisations.

Les gisements de Norvège, des Alpes Orientales, de l'Erzgebirge ou du Valais (Val d'Anniviers) renferment du bismuth et de l'uranium qui manquent à peu près totalement aux Chalanches (1). De plus, lorsque ces gisements renferment de l'antimoine, il se trouve combiné au cobalt et au nickel, ce qui n'est pas le cas aux Chalanches.

Le mécanisme d'enrichissement de certains gisements en métaux lourds pris aux roches encaissantes a fait l'objet, ces dernières années de recherches poussées.

1°) G. Jouravsky (1952), étudiant le gisement marocain de Bou Azzer, remarque de la magnétite dans les skutterudites et envisage que le cobalt et le nickel, présentant plus d'affinité pour l'arsenic que le fer se sont combinés à l'arsenic, tandis que le fer s'individualisait sous forme de magnétite.

Dans la région qui nous intéresse, l'examen en section polie de roches encaissantes y a montré, comme minéraux principaux de la pyrite, de la pyrrhotine, de la chalcoppyrite, des oxydes de titane et plus rarement de la magnétite.

La paragenèse sulfurée déposée dans les filons est très pauvre en arsenic, et le mispickel existe en abondance aux Chalanches. Si le processus décrit par Jouravsky a joué un rôle, il doit être considéré ici comme réduit.

2°) Récemment, I.J. Nekrassov et G.N. Gamjanin (1962), étudiant des gisements à cobaltine et glaucodot liés à des diorites quartzifères et à des granodiorites et des gisements à safflorite et löllingite liés à des monzonites

(1) A l'exception d'une mouche de pechblende trouvée par J. Geffroy dans un échantillon de la collection du Muséum (Comm. orale, mai 1962).

et à des syénites ont établi que les minéraux ferromagnésions sont riches en cobalt. Ceci est particulièrement vrai pour les biotites riches en fer dont la chloritisation libère le cobalt. Ce dernier est transporté sous forme d'ion complexe ($\text{Co}(\text{OH},\text{F})^4\text{Na}^2$), dans les fluides à réaction alcaline. Le complexe se décompose en milieu acide qui permet l'apparition des arséniures de cobalt lorsque le pH se trouve compris entre 3,5 et 4,5.

Les Chalanches représentent un milieu riche en pyrite, la chloritisation des biotites y est un phénomène général, aussi ce processus de mise en place pourrait y être envisagé là. Il convient de remarquer que ces deux auteurs élargissent considérablement le domaine des roches susceptibles de céder du cobalt.

La migration du nickel n'a pas fait l'objet, à ma connaissance, d'études aussi précises. Son abondance dans les roches basiques et ultra-basiques est bien connue (G.V. Goldschmidt, 1937, in K. Rankama et G. Sahama, 1957). La mise en mouvement du nickel est facile à envisager dans la zone des Chalanches, et son dépôt peut être envisagé comme résultant d'une réaction solide-liquide ou solide-solide dans les pores et fissures de la roche encaissante. A cet égard, l'étude des skuttérudites zonées décrites plus haut (p. 114) serait très intéressante.

Paragénèse à antimoine dominant.

La discussion précédente permet aussi d'envisager un schéma logique de mise en place des minéralisations sulfurées et arséniées.

Toutefois la position de l'Allemontite dans ces paragénèses n'est pas claire ; P. Quesnel, (1960), signale sa présence dans les pegmatites de Varusträsk et lui assigne une température de formation comprise entre 600 et 400°.

D'une manière générale, la paragénèse à antimoine dominant et mercure associés semble postérieure aux minéralisations principales ; de plus, elle différencie les Chalanches des gisements classiques à cobalt, nickel, argent.

W. Lindgren (1933) signale que des sources chaudes ascendantes déposent du mercure et de l'antimoine ; tel est le cas pour Steamboat Sr Springs (Nevada) et Sulphur Bank. Becker, cité par W. Lindgren, montra que le sulfure de mercure est

soluble dans le sulfure de sodium et le sulfhydrate de sodium chaud, et proposa le schéma suivant : H^2S , réagissant avec CO_3Na^2 donne du sulfhydrate et probablement du sulfure de sodium qui dissolvent HgS sous forme de complexe HgS, nNa^2S qui se déstabilise dans des conditions de surface.

L'activité volcanique fut très intense dans les Massifs cristallins externes des Alpes, depuis le volcanisme géosynclinal jusqu'au volcanisme post-orogénique qui se continua sous forme de volcanisme spilitique au moins jusqu'à la fin du Trias. Il semble que cette activité volcanique soit responsable du dépôt de l'antimoine, du mercure et sans doute d'une partie de l'arsenic sous forme de dépôts de sources thermales.

Tout au long de ce mémoire j'ai insisté sur la complexité de la mise en place des gisements de la région d'Allement. Des études métallogéniques régionales permettront peut-être de dégager une notion de province métallogénique valable pour les massifs cristallins externes des Alpes. Des études de détail dans la région des Chalanches amèneront à éclaircir un grand nombre de problèmes touchant à la mise en place des minéralisations et à la part de responsabilité exacte de chaque processus métallogénique dans leur mise en place.

Je conclurai en proposant un schéma de mise en place des gisements étudiés et en leur attribuant une place dans la classification métallogénique.

C O N C L U S I O N S

A - Mise en place des minéralisations :

1 - Pyrite contemporaine du volcanisme géosynclinal d'une part, concentration dans la zone des Chalanches liée au début des plissements et au dynamométamorphisme des formations amphiboliques.

2 - Libération de cobalt et de nickel au cours de l'écrasement tectonique de ces formations, libération d'arsenic à partir des pyrites.

3 - Par réaction avec les minéralisateurs issus des zones plus profondes, dépôt dans les fissures et par voie métasomatique de la paragenèse sulfurée et de la paragenèse cobalto-nickélifère, l'argent étant associé en faible quantité à ces minéraux.

4 - Mise en place de la paragenèse à antimoine, arsenic et mercure. La séparation entre 3 et 4 est artificielle, car elle résulte de processus endogènes et hypogènes qui sont liés.

5 - Altération superficielle et phénomènes descendants, formation de wads et de limonites, argyrose descendante, argent natif précipité par les minéraux arséniés et adsorbés par les wads et limonites.

6 - B.P.G.C. à caractère superficiel, d'épithermal à téléthormal, caractérisé par de la blende, de la pyrite, de la galène et de la chalcopryrite à caractère de mise en place et de composition géochimique différente.

B - Age des minéralisations :

Le niveau pyriteux qui joue le plus grand rôle dans la métallogénie de ces gisements est anté-houiller.

La liaison entre les minéralisations, l'orogénie et la mise en place des granites, le métamorphisme et surtout la rétro-morphose

(chloritisation des biotites et libération du cobalt) a été mise en évidence. A ce sujet, l'âge des minéralisations est étroitement lié à deux phénomènes géologiques distincts :

1°) L'âge de la rétro-morphose :

Si elle est hercynienne, liée à l'induration du socle et due au passage des formations cristallophylliennes à un faciès moins profond, les minéralisations principales sont tardi-hercyniennes. Qu'elles aient subsisté jusqu'à nos jours peut s'expliquer en tenant compte que dans la région, l'érosion procède pour le moins aussi rapidement que l'altération superficielle.

Si un âge alpin est admis pour la rétro-morphose, les minéralisations sont alpines, et l'influence des roches encaissantes devient génétiquement prédominante. Le caractère "chaud" des paragenèses principales s'explique alors difficilement ; il faudrait faire intervenir des fluides hydrothermaux dans un socle affecté surtout par des déformations tectoniques de style tangentiel.

2°) La mise en place du granite des Sept Laux :

Sa position anticlinale dans la série brune, les faciès migmatitiques qui l'accompagnent semblent lui assigner une mise en place syncinématique et un enracinement dans des zones migmatitiques profondes. La datation géochronologique de ce granite n'a pas encore été faite. Il est sans doute lié à la phase tectonique hercynienne et des recristallisations y sont intervenues au cours de la phase tectonique alpine.

Il est difficile de conclure quant à l'âge des minéralisations, puisque certains problèmes importants concernant l'environnement géologique des gisements sont encore controversés et qu'il ne m'appartient pas de trancher.

C - Classification des gisements :

Au terme de cette discussion se trouve établi un schéma de mise en place des minéralisations de la région d'Allemont dans lequel les faits d'observation se trouvent liés. L'influence des phénomènes profonds liés au niveau où s'enracinent les granites, les mobilisations des métaux lourds dans les roches encaissantes et la précipitation de certains d'entre eux dans des niveaux lithologiquement et minéralogiquement bien définis montrent la complexité de la mise en place des gisements.

Placer ces gisements dans une classification des gîtes endogènes est difficile si l'on considère l'évolution des idées métallogéniques modernes.

Les gisements de la région d'Allemont, situés à la limite des faciès hypothermaux et mésothermaux par la composition de leurs minéraux métalliques sulfurés, dans le groupe des gisements topominéraux par les paragénèses à cobalt et nickel et dans le groupe épithermal par la paragénèse à antimoine et mercure sont affectés par des remaniements descendants et des phénomènes complexes de remplacement. Il vaut mieux les considérer comme faisant partie intégrante de l'histoire géologique de Bellodonne, leur composition évoluant dans le même sens que l'activité interne, depuis la phase géosynclinale jusqu'à l'induration du socle et la formation de la chaîne de montagne. La participation du volcanisme lié au socle dans les processus de mise en place n'a pas pu être établie clairement. Son influence semble nette en ce qui concerne la mise en place de la pyrite et la paragénèse à antimoine dominant. Au cas où de nouvelles études seraient faites aux Chalanches, il serait intéressant d'élucider le rôle joué par le volcanisme en tant qu'agent minéralisateur.

Je propose de classer ainsi les différentes paragénèses :

Type de gisement	Minéraux métallifères	Gangues
Amas pyriteux	pyrite (chalcoppyrite)	contact roches basiques et roches acides
mésothermal	pyrite, pyrrhotine, blende, galène, chalcoppyrite (argent) (or)	quartz dominant, calcite subordonnée
mésothermal à influence topominérale	arséniures de fer, nickel, cobalt (argent) (antimoine)	carbonates, épidote, (barytine) (quartz)
épithermal	antimoine, mercure, arsenic (argent) (blende galène, chalcoppyrite)	?
remaniements de surface	argyrose, argent natif, minéraux supergènes	

Tableau n° 12 : Classification des gisements de la région d'Allemont.

Il n'est pas douteux qu'une étude métallogénique où le chercheur disposera de minerais bien repérés dans les différents quartiers de mines et d'études géochimiques portant sur la composition des minerais et de certaines formations encaissantes permettra de compléter et de modifier ce schéma. Il me semble que de plus en plus la métallogénie mettra en évidence les influences qu'exerce le cadre géologique sur la mise en place d'un gisement minéral et sur sa composition. A la notion classique de groupes de gisements se substituera de plus en plus la notion de province et d'époque métallogénique où l'accent sera mis davantage sur le contexte historique, géologiquement parlant, de la région que sur les analogies de faits grâce auxquelles deux gisements se ressemblent plus ou moins.

B I B L I O G R A P H I E

- ALLIX A., 1929 - Un pays de haute montagne : l'Oisans. Etude géographique. (Armand Collin).
- BASTIN E.S., 1939 - The nickel, cobalt, native silver ore type. (Econ. Geology, Urbana, vol. 34, p. 1 - 40).
- 1950 - Interpretation of ore texture. (Geol. Soc. Am. Mem. New-York, 45).
- BATMANN A.M., 1951 - The formation of mineral deposits. (John Wiley and Sons, Inc., New-York).
- BERNARD A., 1960 - Cours de métallogénie. (E.N.S.G., Nancy).
- 1961 - Contribution à l'Etude de la Province Métallifère Sous-Cévenole. (Sciences de la Terre. T. VII, n° 3-4, pp. 123-403).
- BERNARD A., POIROT J.P., 1960 - Travaux pratiques de métallographie des minerais. (E.N.S.G., Nancy).
- BILIBIN I.A., 1955 - Provinces métallogéniques et époques métallogéniques. (Moscou - Gosgeoltekhizdat. Trad. S.I.G. B.R.G.M.).
- BORDET Cl., 1952 - Sur l'interprétation comme diapirs descendants de certaines bandes de terrains secondaires pincées dans les massifs cristallins externes des Alpes. (C. R. Ac. Sci., Paris, t. 235, p. 732).
- 1957 - Recherches géologiques sur la partie septentrionale du massif de Belledonne. Thèse, Paris.

•

BORDET Cl. et P., 1953 - a) Sur la présence de carbonifère antéstéphanien dans la série cristalline du massif de Belledonne. (C. R. Ac. Sci., Paris, t. 236, p. 305).

- b) Sur la structure des massifs cristallins externes des Alpes françaises. (C. R. Ac. Sci., Paris, t. 236, p. 500).

- c) Remarques sur l'orogénèse hercynienne dans les Alpes. (C. R. Ac. Sci., Paris, t. 236, p. 722).

BORDET P., 1956 - Les formations cristallophylliennes des massifs externes entre l'Arc et la Bonne. (Bull. Serv. Carte Géol. Fr., Paris, t. 54, bull. n° 250, fasc. B, p. 17-30).

- Répétitions isoclinales et granitisation dans deux séries cristallophylliennes anciennes (Alpes et Maures). (C. R. Ac. Sci., Paris, t. 242, p. 387).

1960 - Sur la géologie du massif de Belledonne (C. R. Ac. Sci., Paris, t. 252, n° 3, pp. 434-436).

BOULADON J., 1962 - Etude sommaire des indices minéralisés en chromite de la région de Chamrousse (Belledonne, Isère). (B.R.G.M., Paris).

de BOURNON, 1784 - Sur la minéralogie du Dauphiné. (Journal de Physique, t. XXIV, part I, p. 200).

DALY R.A., 1933 - Igneous rocks and the depths of the earth. I vol. (Mac Graw Hill, book company, New-York).

DONDEY D., 1958 - Contribution à l'étude tectonique et pétrographique de Belledonne méridionale. (Région d'Allevard, Isère). (C. R. somm. Soc. géol. Fr., Paris, pp. 332-334).

1960 - Contribution à l'étude de la série cristallophyllienne et de la couverture sédimentaire de la chaîne de Belledonne méridionale. (D.E.S. ; Trav. lab. géol. Grenoble, pp. 285-368).

- DUPARC L., 1894 - Sur les gabbros et les amphibolites de la chaîne de Belledonne. (C. R. Ac. Sci., Paris, t. 118, pp. 673-675).
- EDWARDS A.B., 1947 - Texture of the ore minerals and their significance. (Australian Inst. of Min. and Metall., Melbourne).
- EMMONS W.H., 1933 - On the mechanism of the deposition of certain metal-liferous lode system associated with granitic batholits. (Lindgren volume published by Am. Inst. of Min. and Metallurg. Engineers, New-York).
- ESKOLA P., 1946 - Kristalle und Gesteine - Wien. Springer Verlag.
- EVARD P., 1898 - Rapport sur la concession des Chalanches. (Archives Service des Mines, Grenoble).
- GIGNOUX M., 1930 - La tectonique des terrains salifères ; son rôle dans les Alpes françaises. (Livre jubilaire publié à l'occasion du centenaire de la Soc. Géol. de France, T. II).
- 1948 - 1950 - La tectonique d'écoulement par gravité et la structure des Alpes. (Bull. Soc. Géol. Fr., Paris, 5e série, t. XVIII, pp. 739-761).
- GIGNOUX M. et MORIT L., 1952 - Géologie dauphinoise, 2e édition (Masson, Paris).
- GOGUEL J., 1952 - Traité^{de}/tectonique. (Masson et Cie, Paris).
- GRAFF E., 1846 - Note sur la mine d'argent des Chalanches. (Archives Service des Mines, Grenoble, et Bull. Soc. Sc. et Ind. de Lyon. Séance du 5.2. 1868. 35 p.).
- GRAS Sc., 1837 - a) Notice historique sur l'exploitation des mines de l'Oisans. (Revue du Dauphiné, p. 264-279. Grenoble).
- 1851 - b) Sur la découverte d'une mine de mercure dans le département de l'Isère. (Bull. Soc. Géol. Fr., Paris, 2e série, t. VIII, p. 562).
- 1879 - Sur l'âge géologique des couches anthracifères du département de l'Isère (Ann. des Mines (3) T. 16).

- GRIP E., 1960 - The Skelleftea district and the Laisvall area. (Int. Geol. Congress. Guide to excursions n° A 27 and C 22. Swedish geological survey).
- GUETTARD, 1779 - Mémoires sur la Géologie du Dauphiné. (Imp. de Clausier, Paris).
- GUEYMARD Emile, 1831 - Sur la géologie, la minéralogie et la métallurgie du département de l'Isère. (Grenoble).
- GUEYMARD Eugène, 1846 - a) Sur les gîtes de nickel dans l'Isère. (Bull. Soc. géol. Fr., Paris, 2e série, t. XII, p. 515).
b) Mémoire sur le platine dans les Alpes. (Bull. Soc. géol. Fr., Paris, 2e série, t. XII, p. 429).
- HAMAGUSHI et KURODA F.K., 1959 - Silver content of igneous rocks. (Geochim. & Cosmochim. Acta, 47, p. 44).
- HARKER A., 1932 - Metamorphism. (Londres).
- HUNT E.C., NORTH A.A., WELLS R.A. - 1955 - Geochimie of nickel. (The analyst, Vol. 80, mars, p. 172).
- HUTTENLOCHER H.F., 1934 - Die Erzlagerstätten des Westalpen. (Schw. Min. Petrol. Mitt. T. XXII, Heft 2).
- JOURAVSKY G. 1952 - Géologie des gîtes minéraux marocains ; cobalt et nickel. (Division des Mines et de la Métallurgie, Notes et Mémoires, n° 87).
- JUNG J. et ROQUES M., 1952 - Introduction à l'étude zonéographique des formations cristallophylliennes. (Bull. Serv. Carte géol. Fr., Paris, t. 50. Bull. n° 235, pp. 1-61).
- KALB G. 1926 - Das System As-Sb in der Natur. (Metal und Erz 23, p. 113-115).
- KRUMENACHER D., 1959 - Le cristallin de la région de Fully (Valais). (Bull. Suisse de Pétrol. vol 39, fasc. 1 - 2. pp 157 - 266.).

- LACROIX A., 1893 à 1913 - Minéralogie de la France. (5 vol., Paris, 1922).
- de LAUNAY L. 1913 - Traité de métallogénie. Gîtes minéraux et métallifères. (T. I, II, III. Paris et Liège - Béranger).
- LEUTWEIN F., 1961 - Cours de métallogénie et géochimie. 3ème Cycle. (E.N.S.G., Nancy).
- LORY Ch., 1860 - Description géologique du Dauphiné. (Grenoble).
- LORY P., 1893 - Etudes géologiques dans la chaîne de Belledonne. (B.S.S.I. (4) T.I).
- 1895 - Etudes géologiques dans la chaîne de Belledonne. (B.S.S.I. T.II).
- 1925 - Sur la tectonique de la chaîne de Belledonne au Sud d'Albertville. (C. R. Ac. Sci., Paris, t. 174).
- LUGEON M., 1911 - Sur l'existence de deux phases de plissements paléozoïques dans les Alpes Occidentales. (C. R. Ac. Sci., Paris, t. 153, p. 842).
- 1946 - A propos du prétendu métamorphisme du Trias autochtone alpin. (Bull. Soc. géol. Fr. (5) T.16, pp. 609-628).
- MAGNUSSON H. 1960 - Iron and sulphide ores of central Sweden. The geological history of central Sweden of Swionan time. (Int. Géol. Congr. Guide to excursions n° A 26 and C 21 - Swedish geological Survey).
- MICHEL R., 1953 - Les schistes cristallins des massifs du Grand Paradis et de Sezia Lanzo (Alpes franco-italiennes). (Sciences de la Terre, I, n° 3-4, T.XII, Nancy).
- 1956-1957 - Cours de métallogénie (A la Fac. Sc. Grenoble).
- MICHEL R. et BERTHET P., 1958 - Les formations cristallophylliennes de la chaîne de Belledonne dans la vallée de la Romanche (Isère). (C.R.Ac.Sci., Paris, t.246, p. 1888).

- MORET L., 1941 - Les sources thermominérales. (Masson et Cie, Paris).
- 1945 - Précision sur la nature et l'âge des chapeaux houillers formant quelques sommets du massif de Belle-donne. (C.R. somm. Soc. Géol. Fr., Paris, t. XV, p. 58-60).
- NEKRASSOV I.J. et GAMJANIN G.N. - 1962 - Associations minérales et conditions de formation des gisements cobaltifères en Yakoutie du N.E. (Geol. Rudn. mest. Moscou. Novembre. in chronique des Mines et de la recherche minière, Mars 1962, pp. 93-94).
- ORCEL J., 1925 - Les méthodes d'examen des minerais métalliques. (Bull. Soc. Min. Métal. de France, 48, pp. 272-361).
- 1928 - Note sur le caractère microscopique des minéraux opaques, principalement en lumière polarisée. (Bull. Soc. Min. Métal. de France, 51, pp. 197-210).
- PALMER Ch. et BASTIN E.S., 1913 - Metallic minerals as precipitant of silver and gold. (Econ. Geology, Urbana, vol. 8, pp. 40-170).
- PETERLONGO J., 1955 - Etude des phénomènes métasomatiques dans les amphibolites des monts du Lyonnais. (Bull. Soc. géol. Fr., Paris, t. 5, p. 361).
- 1960 - Les terrains cristallins des monts du Lyonnais. (Annales de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand. N° 4, Fasc. 4).
- QUESNEL P., 1960 - The Varusträsk pegmatite. (Int. Geol. Congr. Guide to excursions n° A 27 and C 22). (Swedish Geolog. Survey).
- RAMBERG, 1952 - The origin of metamorphic and metasomatic rocks (A treatise on crystallisation and replacement in the earth's crust). (The University of Chicago press).

- ROUBAULT M., 1949 - La genèse des montagnes. (Press. Univ. de France. Collection La Science Vivante).
- RAMDOHR P., 1950 - Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. (Berlin).
- RAGUIN E., 1948 - Géologie des gîtes minéraux. (Masson, Paris).
- RANKAMA et SAHAMA T.G., 1955 - Geochemistry. (Chicago Univ. Press).
- RINNE F., BERTRAND L., J. ORCEL, 1959 - La Science des Roches. (Lamarre, Paris).
- SARROT, REYNAULT J., 1962 - Etude géologique du dôme de la Mure et des régions annexes. (Thèse, Grenoble).
- SCHNEIDERHOHN H., 1958 - Die erzlagerstätten der Erde. (2 vol. Gustav Fisher. Verlag. Stuttgart).
- SCHNEIDERHOHN H. et RAMDOHR P., 1931-1933 - Lehrbuch der Erzmicroscopie. (Berlin).
- SCHREIBER J.C., 1784 - Observations sur la montagne des Chalanches (près d'Allemont, Isère). (Journal de Physique, mai, et B.S.S.I., T. I, 1839, p. 114-123).
- 1786 - Mémoire sur différentes espèces de mines qui se trouvent dans les filons de la montagne des Chalanches, près d'Allemont en Dauphiné. (Journal de Physique, p. 143-148).
- 1788 - Lettre à Monsieur de la Méthérie sur une mine d'argent. (Journal de Physique, p. 368-370).
- 1798 - Notice sur la découverte de mercure coulant dans la mine d'Allemont et sur la mine de mercure de Saint-Arey. (Journal de Physique, T. IX, p. 433).
- SHAW D.M., 1960 - Cours de géochimie - 3ème Cycle. (E.N.S.G., Nancy).
- SHORT M.N., 1940 - Microscopic determination of the ore minerals. (U.S. Geol. Surv., Bull. 914).
- SULLIVAN C.J., 1948 - Ore and granitization. (Econ. Geol. Mem. XLIII, pp. 471-498).

- TANE J.L., 1961 - Contribution à l'étude des laves d'âge triasiques de la zone alpine externe (région de Villard Notre-Dame, massif du Pelvoux). (Trav. Lab. Géol. Grenoble, T. 37).
- TATARINOV P.M., 1955 - Conditions de formation des gisements de minerais métalliques et non métallifères. (Moscou. Trad. S.I.G., B.R.G.M.).
- TATARINOV P.M., GRUSNEVYJ. V.G., LABAZIN G.S., 1957 - Principes généraux d'analyse métallogénique régionale et méthode d'établissement des cartes métallogéniques des régions plissées. (Mater. Vsesojuzn. Tanchno. Issf. Gool. Inst. Obshch. Ser. n° 22. Trad. S.I.G., B.R.G.M.).
- den TEX E., 1950 - Les roches basiques et ultra-basiques des Lacs Robert et le Trias de Chamrousse. (Massif de Belledonne). (Leidse geol. Med. deel 15).
- THURY Héricart de an II - Sur les gisements d'anthracite de l'Oisans. (Journal des Mines T.XIV, p. 161 et vol. 20 p. 69).
- 1806 - Mines d'or du département de l'Isère. (Journal des Mines, 2ème semestre, T.XX).
- 1807 - Essais sur le minerai de plomb de Montjean près de Vizille, faits à la Fonderie d'Allemont en Oisans. (Journal des Mines, T.XXI, 1er semestre).
- TOBI A.C., 1958 - a) Volcanisme occulte dans les grès d'Allevard (Permien) et dans le Houiller du Massif de Belledonne (Isère). (C.R.Ac.Sci., Paris, T.247, p.104).
- b) Sur les roches cristallophyllionnes de la bordure Ouest du massif de Belledonne (Isère). (C. R. Ac. Sci., Paris, T. 247, p. 104).
- 1959 - Petrographical and geological investigations in the Merdaret - Lac Crop region. (Belledonne massif ; France). (Thèse).

TURNER F.J. et VERHOOGEN J., 1960 - Igneous and metamorphic petrology.
(Mac Graw Hill. New-York).

UYTENBOGAARDT W., 1951 - Tables for microscopic identification of the
ore minerals. (Princeton).

WEGMANN C.E., 1935 - Zur Deutung der Migmatite. (Geol. Rundschau, Band
26).

YOUNG J., 1957 - Geochimie of cobalt. (Geochim. & Cosmochim. Acta
13, pp. 28-48).

PLANCHE I

PHOTOGRAPHIES DE FACES POLIES DE QUELQUES ROCHES CARACTERISTIQUES

1.- Photographie d'un échantillon moyen du gneiss d'Allemont.

Face polie ; x 0,8.

La foliation gneissique contournée enveloppe les amygdales quartzo-feldspathiques fuselées, granulométriquement hétérogènes. Les minéraux phylliteux sont essentiellement des biotites rétro-morphosées en chlorites et séricite. Macroscopiquement, cette roche s'apparente à une migmatite hétérogène.

2.- Roche Berchon : Echantillon provenant du sommet de la Série verte.

Face polie ; x 0,7.

Dans le lit à grain grossier, les phénocristaux sont des ouralites, les minéraux clairs des feldspaths très altérés. Ces niveaux représentent le faciès gabbroïque du sommet de la Série verte. Les lits à grain fin sont riches en amphiboles dérivées pour une part de pyroxènes (ouralites).

3.- Chemin de la Traverse à Bâton : (Itinéraire n° 2). Face polie; x0,75.

Cipolin soulignant un contact amphibolites-micaschistes. Les amas riches en amphiboles contenus dans la calcite sont étirés et boudinés.

4.- La Grande Roche : Gneiss à amphiboles encaissant les formations à caractère gabbroïques. Face polie ; x 0,81.

Dans cet échantillon, le lit leucocrate contient des reliques de minéraux ferromagnésiens, du quartz, des feldspaths et de petits grenats néoformés ; dans le lit mélanocrate, les amphiboles sont très plissotées dans le détail.

5.- Chemin de la Traverse à Bâton : (Itinéraire n° 2). Face polie; x 0,85.

Eponte d'une lentille de quartz. Un fragment anguleux de la roche encaissante est riche en biotite et grenats. Dans des minéraux d'altération, constitués de séricite, chlorites, zoïste, se sont développés de beaux cristaux de disthène et un peu d'andalousite.

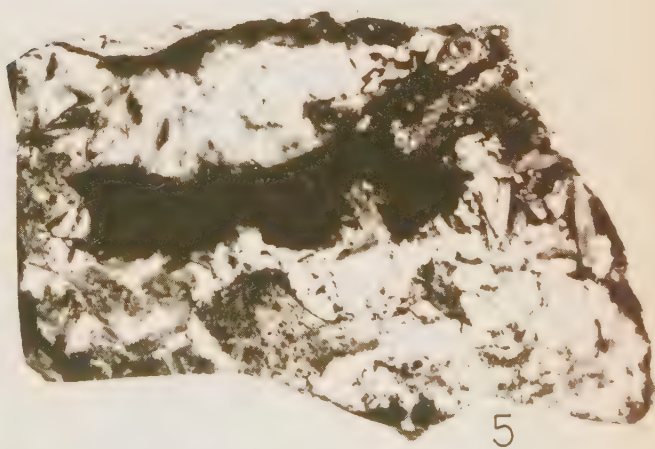
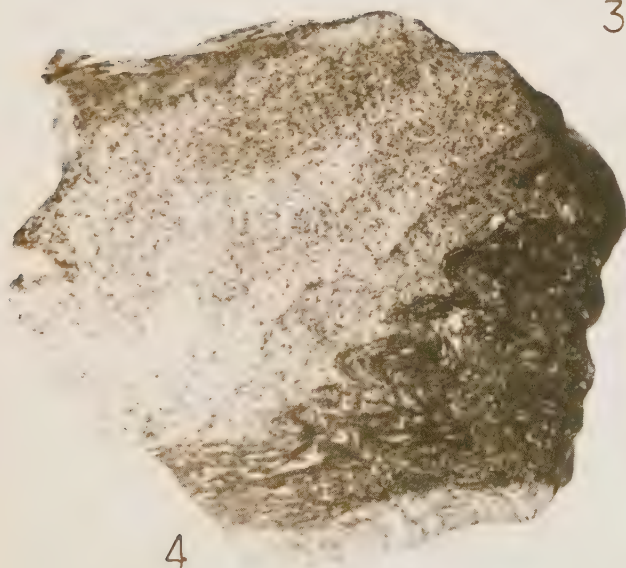
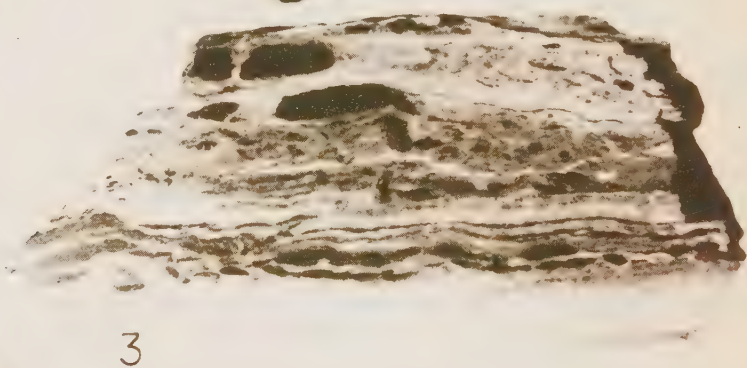


PLANCHE II

PHOTOGRAPHIES DE FACES POLIES DE QUELQUES FORMATIONS MINERALISEES

1.- Le Mollard n° 1 - Galerie, à 15 mètres de l'entrée.

Grandeur naturelle.

Fragment de brèche d'éponte cimentée par de la galène. Les éléments anguleux clairs de la roche sont des fragments de roche encaissante et du quartz (à droite). Les plages sombres sont des amas de chlorites. Le ciment de la brèche est constitué par de la galène à grain fin renfermant blende et chalcopryrite à lamelles de dissociation.

2.- Champeau - Fragment de filon ; grandeur naturelle.

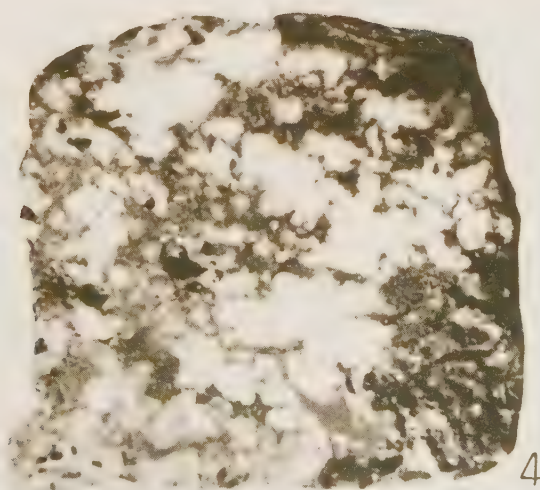
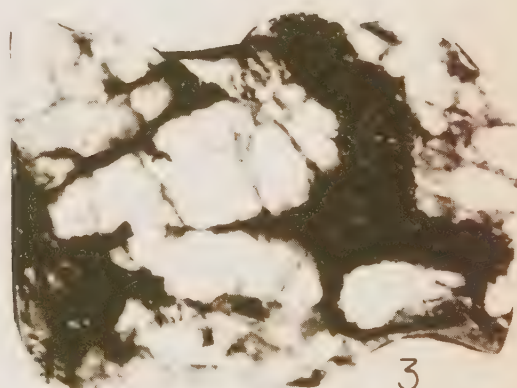
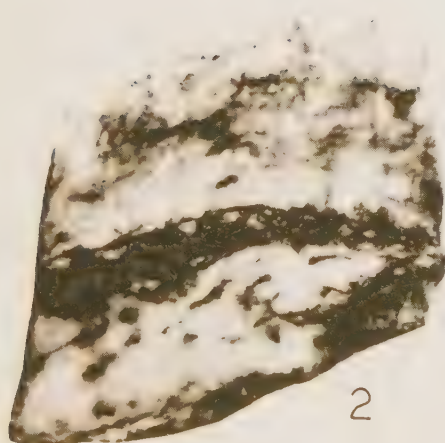
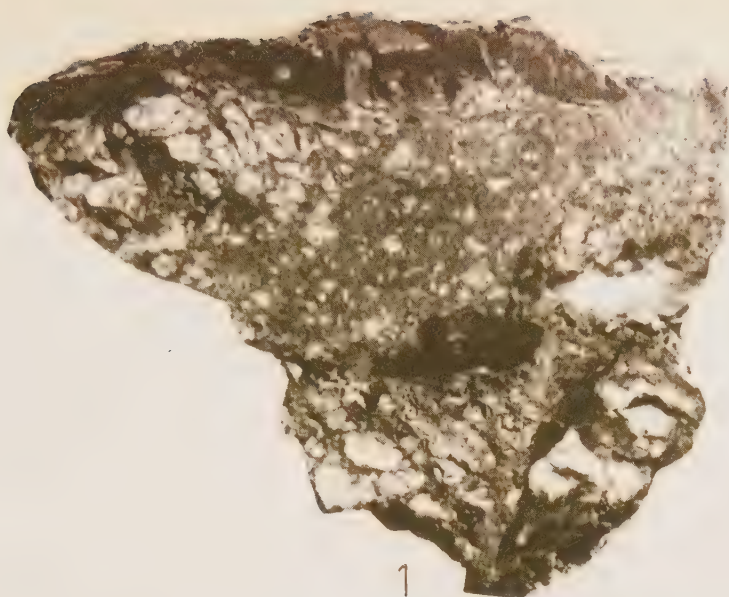
La minéralisation (plages grises) à galène, blende, et chalcopryrite est rubannée parallèlement à l'éponte.

3.- Les Arabes - Fragment du filon n° 3 ; grandeur naturelle.

La cataclase du quartz est ici très nette. La minéralisation à pyrrhotine et galène dominante a un net caractère de remplissage de brèche.

4.- L'Ecuelle - Fragment d'un filon ; grandeur naturelle.

La minéralisation à galène (gris clair) et blende (noir) a un caractère de remplissage de brèche. Les phénomènes de remplacement de la gangue par la minéralisation sont peu développés.



P L A N C H E III

MICROPHOTOGRAPHIES DE QUELQUES LAMES MINCES

1.- Gneiss d'Allemont : L.P. ; x 14.

Cette microphotographie montre le détail d'une amygdale de quartz et d'oligoclase, dans un environnement de chlorites, quartz et feldspaths cataclasés. La bordure de quartz granulé est visible sur le bord inférieur de l'amygdale.

2.- Micaschistes de la Traverse : L.P. ; x 22.

Grenats dans un fond de quartz engrené et de minéraux phylliteux. Le gros grenat du centre renferme des inclusions alignées de biotite. Le long de sa face supérieure de la muscovite a cristallisé.

3.- Gneiss à faciès migmatitique des Granges : L.P. ; x 22.

Cette microphotographie montre clairement la texture hétérogène de la roche. Aux plages à cristaux engrenés de quartz, feldspaths, biotite s'opposent les plages à grain fin à quartz et séricite dominants.

4.- Les Chalanches - Gangue à asbeste : L.N. ; x 5.

Filonnets d'asbeste dans une roche indéterminable à lambeaux d'amphiboles, chlorites et quartz secondaire.

5.- Gneiss de la rive droite du ruisseau du Coteyssard : L.P. ; x 18.

Trainées de séricite et pennines cimentées par du quartz à extinction onduleuse. Ces faciès d'altération soulignent les zones à cataclase intense.

6.- Les Chalanches. L.N. ; x 45..

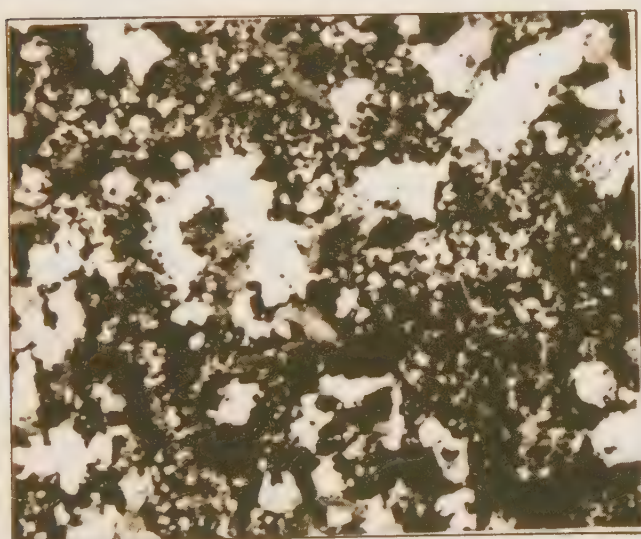
Roche à amphiboles de la famille de l'actinote en voie de transformation en asbeste. Les grains noirs disséminés dans la roche sont du sphène.



1



2



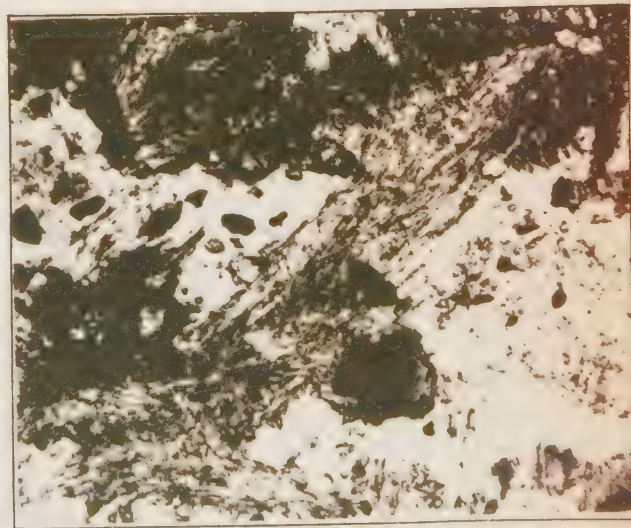
3



4



5



6

P L A N C H E IV

MICROPHOTOGRAPHIES DE SECTIONS POLIES PROVENANT DES GITES A B.P.G.C.

1.- Le Mollard n° 1 - Brèche d'éponte. x 650

Inclusion arrondie de chalcopryrite dans la galène. La chalcopryrite renferme des exsolutions en grille d'un minéral plus dur, dont les caractères optiques correspondent au "unbekantes Nickelerze" de P. Ramdohr (1933).

2.- Le Mollard n° 1 - Minerai à pyrrhotine abondante. x 240

La pyrrhotine (Py) et la galène (G) sont étroitement associées. Des textures en "oeil de perdrix" provenant de l'altération de la pyrrhotine en marcassite sont ici nettement visibles.

3.- Le Mollard n° 5 - Blende après attaque au permanganate sulfurique. x 90

L'attaque microchimique met en évidence les lamelles de mûcles très cataclasées.

4.- Le Grand Bois. x 90

Remplacement de la pyrite par la pyrrhotine, le long des diaclasses et sur le pourtour du grain de pyrite.

5.- La Combe : Chalcopryrite après attaque nitrique. x 240

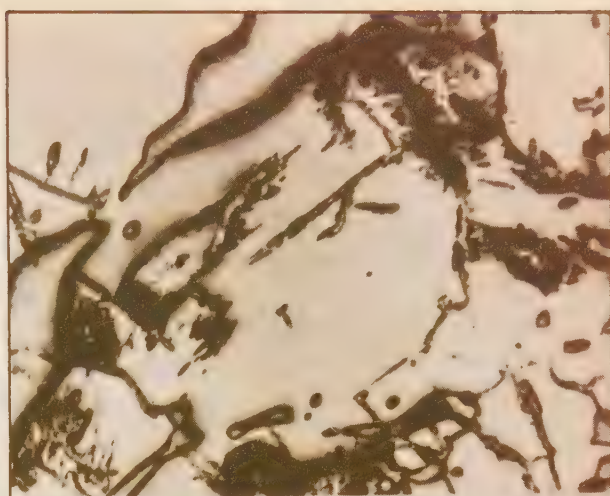
L'attaque met en évidence les lamelles de mûcles. Les inclusions grises sont de la blende. On voit ici nettement que les inclusions de blende paraissent sans relation mécanique avec les lamelles de mûcle de la chalcopryrite.

6.- La Combe : Blende (gris foncé) et chalcopryrite. x 90

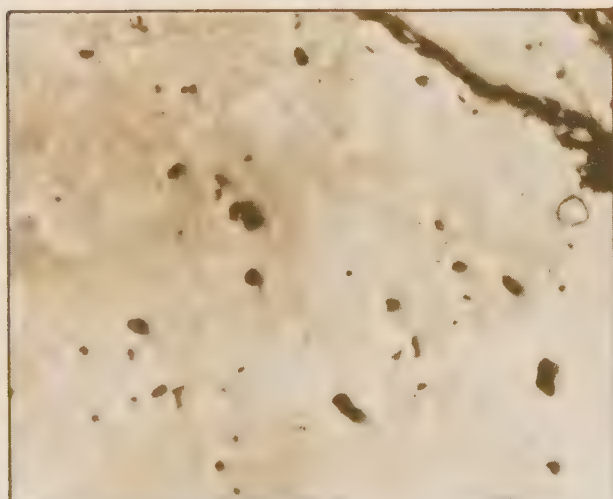
La blende renferme des inclusions allongées de chalcopryrite et des gouttes arrondies de pyrrhotine. Les inclusions, la chalcopryrite surtout, sont alignées.



1



2



3



4



5



6

P L A N C H E V

MICROPHOTOGRAPHIES DE SECTIONS POLIES PROVENANT DES CHALANCHES

1.- Plate-forme de triage ; x 205.

Cristaux de mispickel automorphe autour d'un agrégat à texture colloforme de goethite et melnikovite.

2.- Plate-forme de triage ; x 90.

Skutterudite dont l'altération, en détruisant les composants les plus fragiles, a développé la texture "à la Vauban".

3.- Plate-forme de triage ; x 90.

Association caractéristique (Lacroix, 1913) de nickéline (au centre, altérée) entourée de skutterudite nickélifère, dans une gangue à carbonates dominants. Sur la partie inférieure gauche de la photo, l'existence de deux composants dans la skutterudite est bien visible.

4.- Brèche carbonatée ; x 205.

Pyrite (altérée, dure) entourée par de la skutterudite.

5.- Bloc d'éboulis renfermant un filonnet de skutterudite ; x 90.

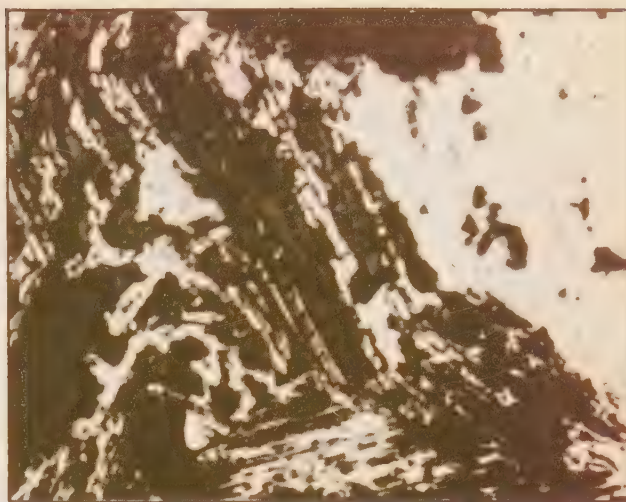
La skutterudite est ici photographiée après attaque par les vapeurs d'eau régale. 3 composants sont ici visibles, l'un sous forme d'amas ulcérimorphes, l'autre en textures "à la Vauban", le troisième constituant le fond de la roche.

6.- Allemontite - Collection E.N.S.G. ; x 90.

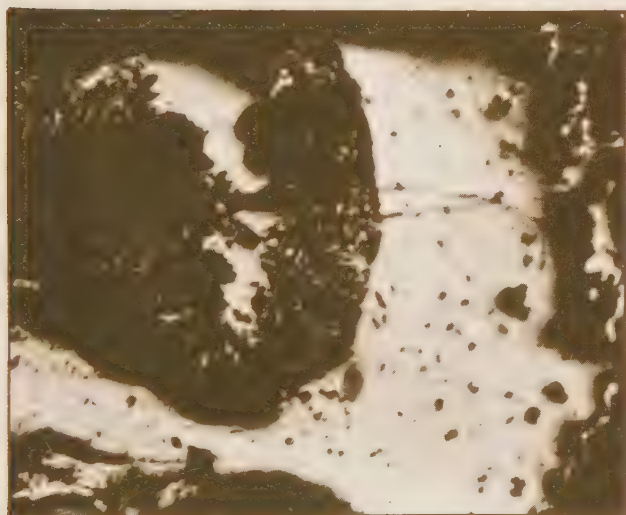
Les exsolutions graphiques de couleur grise foncée sont l'arsenic. Le fond de la roche est constitué par de l'antimoine. Afin d'obtenir un cliché contrasté, la photographie a été prise après une exposition à l'air de deux jours de la section fraîchement polie.



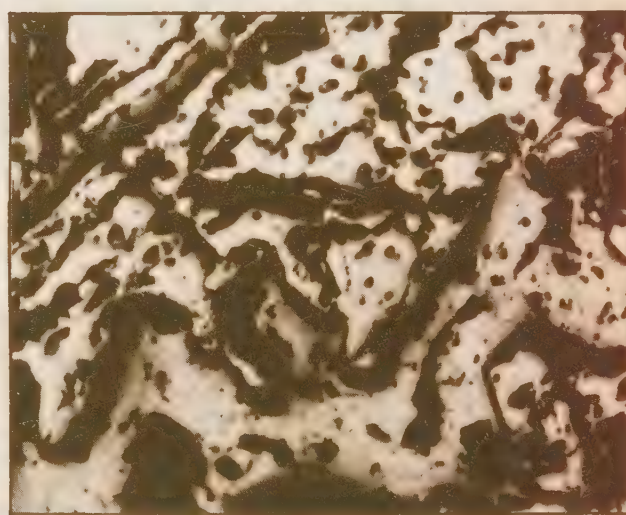
1



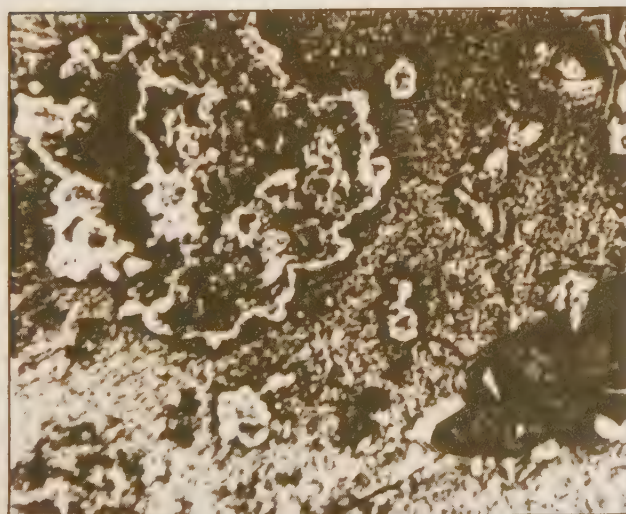
2



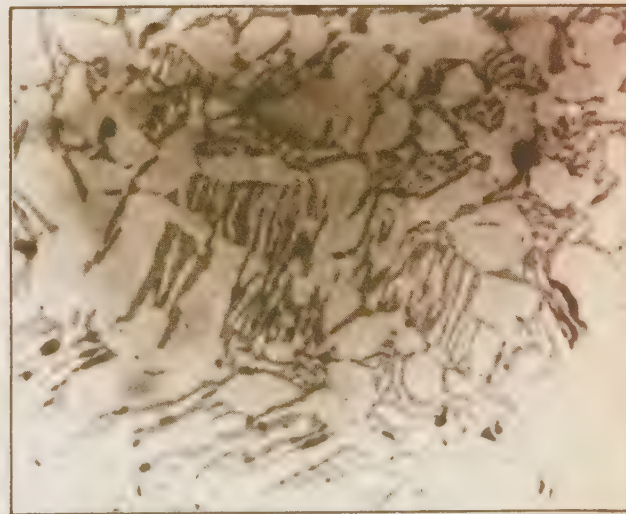
3



4



5



6

Vu et approuvé,
Nancy, le 6 juin 1963,
Pour le Doyen, l'Assesseur Délégué,
Signature : J. AUBRY

Vu et permis d'imprimer,
Nancy, le 8 juin 1963,
le Recteur
Président du Conseil de l'Université
Signature : P. IMBS

